

# КОРРОЗИЯ И ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

А. С. МУДРУН  
П. В. ГОНЧАРЕНКО



А.С. МУДРУН  
П. В. ГОНЧАРЕНКО

# **КОРРОЗИЯ И ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ**

КИЕВ «ТЕХНІКА» 1984.

**34.437**

**М89**

**Мудрук А. С., Гончаренко П. В.**

**М89** Коррозия и вопросы конструирования.—  
К.: Техніка, 1984.— 135 с., ил.— Библиогр.:  
с. 132—134.

55 к. 4000 экз.

В книге изложены основы обеспечения коррозионной стойкости изделий машиностроения на этапе их конструирования. Обобщен отечественный и зарубежный опыт рационального конструирования, обеспечивающего минимальные потери от коррозии. Приводятся сведения, необходимые при выборе конструкционных материалов и защитных покрытий.

Предназначена для инженерно-технических работников конструкторских и научно-исследовательских организаций, а также может быть полезна студентам машиностроительных специальностей.

**М**  $\frac{2702000000-014}{M202(04)-84}$  84-84

**34.437**

Рецензенты д-р техн. наук *В. Е. Канарчук*, канд. техн. наук  
*Н. Ф. Терещук*

Редакция литературы по машиностроению и транспорту  
Зав. редакцией *М. А. Василенко*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года предусматривается на основе использования достижений науки и техники разрабатывать и внедрять высокоэффективные методы повышения коррозионной стойкости металлических конструкций. Это одна из важнейших задач в системе осуществляемых партией и правительством мер по повышению эффективности производства и качества работ. Значение решения этой задачи постоянно возрастает, поскольку производство металла в последние годы опережает производство и применение средств его защиты от коррозии.

Коррозия приносит народному хозяйству значительный ущерб.

Прямым убыткам от коррозии не уступают трудно учитываемые косвенные потери, вызванные коррозионными процессами: утечки и порча продукции, потери от простоев оборудования, машин и механизмов, поломка и интенсивный износ деталей, ухудшение условий труда и т. д. Например, ежегодный ущерб от коррозии и нарушений правил межсезонного хранения сельскохозяйственной техники оценивается в 750—800 млн. р. В химической промышленности ежегодные прямые затраты на противокоррозионные мероприятия превышают 1 млрд. р., а косвенные потери от коррозии оцениваются в среднем в 1,5—1,8 млрд. р. в год [40].

Основными причинами коррозионного разрушения деталей машин в большинстве случаев считают низкое качество защитных покрытий, нарушение правил эксплуатации и хранения техники. Вместе с тем немаловажное значение

для обеспечения коррозионной стойкости изделий имеет и рациональное их конструирование. Однако рациональному конструктивному оформлению машин, обеспечивающему минимальное коррозионное разрушение в результате воздействия внешних факторов, уделяется мало внимания. Даже в специальных изданиях по защите от коррозии вопросы антикоррозионного конструирования не находят должного отражения. Методы обеспечения коррозионной стойкости изделия на стадии конструирования мало изучены. Здесь каждый отдельный случай требует своего конкретного подхода, своего конкретного, зависящего от целого ряда условий решения. Авторы книги попытались обобщить, систематизировать и проанализировать накопленный в различных отраслях отечественного и зарубежного машиностроения опыт обеспечения коррозионной стойкости изделий в процессе их создания.

Книга не претендует на полноту изложения всех затронутых вопросов. Приведенные в ней примеры не являются решением всех задач, стоящих перед конструктором. Их цель — побудить творческое воображение создателя новой техники, нацелить на поиск новых решений, направленных на обеспечение коррозионной стойкости изделия, еще за чертежной доской и столом.

Параграф 3 главы 1, параграфы 2 и 3 главы 2 подготовлены авторами совместно. Остальная часть книги написана А. С. Мудруком.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 252601, Кисев, 1, Крещатик, 5, издательство «Техніка».

# **ГЛАВА 1**

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ**

### **1. ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ**

Коррозия — это процесс самопроизвольного и необратимого разрушения материалов вследствие их химического и электрохимического взаимодействия с внешней средой.

Теоретические основы коррозии и защиты металлов освещены в трудах отечественных и зарубежных ученых [3, 4, 14, 32, 33, 37, 42 и др.]. Фундаментальные исследования явились основой для разработки эффективных мер защиты от коррозии, реализуемых в различных отраслях народного хозяйства. Важное значение для обеспечения коррозионной стойкости изделий машиностроения имеет профилактика коррозионных разрушений уже на стадиях конструирования.

При разработке изделия машиностроения конструктор должен учитывать не только кинематику и динамику машины, но и физико-механические и химические свойства реальных конструкционных материалов, а также специфические особенности среды, с которой должны взаимодействовать элементы изделия.

Большинство изделий машиностроения корродирует неравномерно как по интенсивности, так и по расположению очагов коррозии.

Однако ни специалисты по защите металлов от коррозии, ни конструкторы до настоящего времени не рассматривали изделие как

неравномерно корродирующую систему, несмотря на то что в практике известно много случаев, когда долговечность изделия лимитировалась коррозионным разрушением отдельных участков деталей, хотя изделие хорошо выполняло свое функциональное назначение, а при его изготовлении были использованы самые стойкие защитные покрытия. Поэтому нужен новый подход к решению проблемы защиты от коррозии.

Вопросами обеспечения коррозионной стойкости создаваемого изделия конструктор должен заниматься на всех стадиях разработки конструкторской документации. При этом защита от коррозии должна учитываться одновременно с выбором оптимальных форм и функциональных характеристик проектируемого объекта, так как форма элементов конструкции и их местоположение в изделии оказывают существенное влияние на его коррозионное поведение в реальных условиях эксплуатации.

Для того чтобы создать изделие коррозионностойким, конструктор должен знать теорию защиты от коррозии, использовать имеющийся практический опыт, применять защитные покрытия и материалы, хорошо зарекомендовавшие себя в изделиях-аналогах, знать характер и агрессивность коррозионной среды, коррозионную стойкость материалов, их технологичность, находить оптимальные конструктивные формы, использовать взаимозаменяемость материалов, учитывать экономическую эффективность применяемых мер защиты от коррозии.

Первоочередной задачей конструктора наряду с оптимизацией функциональных характеристик создаваемого изделия является профилактика коррозии. Необходимо достаточно рациональным и экономичным способом ослабить,

приостановить или прекратить действие коррозии путем выбора и назначения соответствующих ограничений при эксплуатации или внесения оптимальных поправок в рабочие чертежи [24].

Конструктор должен учитывать географию использования своего изделия, так как скорость коррозии металла изменяется в зависимости от климатических условий. Например, глубина коррозии железа применительно к сельской атмосфере, не загрязненной отходами промышленных производств, в Средней Азии составляет от 9 до 16 мкм в год, в Закарпатье и республиках Прибалтики — 39—43, в районе строительства БАМа — 16—20, в Киевской области — 30—33 мкм в год. Как следует из приведенных данных, глубина коррозии железа в Прибалтике почти в 5 раз больше, чем в Средней Азии.

При конструировании изделия машиностроения с оптимальной коррозионной стойкостью необходимо учитывать требования эксплуатации, определяющие эффективность использования изделия, и требования производства, определяющие возможность реализации проекта. Между отдельными видами требований эксплуатации и производства существуют взаимосвязи, которые могут быть представлены в виде системной модели конструирования (рис. 1) [43].

Требования эксплуатации могут иметь определенное число вариантов ( $\mathcal{E}_{m_1}, \mathcal{E}_{m_2}, \dots, \mathcal{E}_{m_i}$ ), отличающихся, например, по необходимому сроку службы покрытия, по коррозионной стойкости деталей при использовании изделия в различных климатических условиях, по степени приспособленности изделия к обновлению защитных покрытий и т. д. Требования производства также могут иметь некоторое число вариантов ( $\Pi_{m_1}, \Pi_{m_2},$



...,  $\Pi_{mi}$ ), которые отличаются друг от друга в зависимости от технической оснащённости завода-изготовителя, поточности производства, объема выпуска изделий.

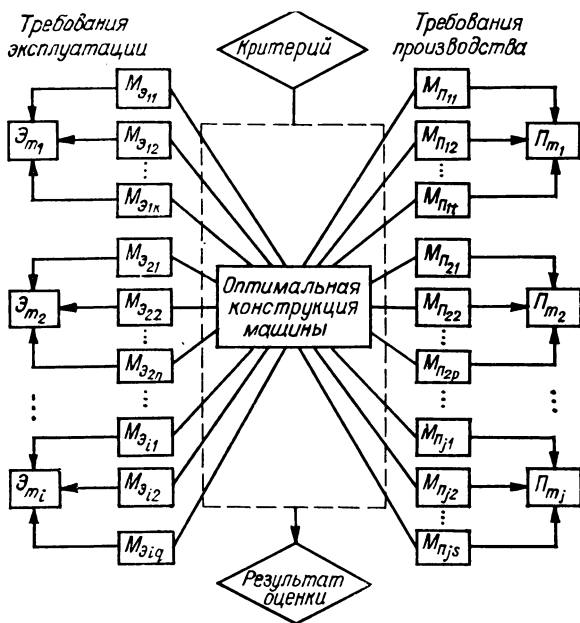


Рис. 1. Принципиальная схема системной модели конструирования изделия с оптимальной коррозионной стойкостью.

Каждому варианту требований эксплуатации и производства может соответствовать некоторое число вариантов конструкции ( $M_{э1}$ ,  $M_{э2}$ , ...,  $M_{э1k}$ ;  $M_{п11}$ ,  $M_{п12}$ , ...,  $M_{п1r}$ ).

Требования эксплуатации и производства могут находиться в противоречивых, независимых

и согласованных взаимосвязях. Например, требование эксплуатации по повышению долговечности лакокрасочного покрытия в отдельных случаях может быть обеспечено изменением условий производства, в частности увеличением количества слоев покрытия и ужесточением интервала температур сушки. Выполнение этого требования приведет к более эффективному использованию изделия и снижению расходов на техническое обслуживание и ремонт. В условиях производства это требование приводит к увеличению затрат на изготовление изделия. В данном случае решение противоречия может быть найдено при помощи технико-экономических расчетов с использованием народнохозяйственных критериев.

Примером независимых взаимосвязей требований эксплуатации и требований производства может служить изменение расположения детали из стандартного профиля проката, исключающее скопление влаги и загрязнений. Масса детали и стоимость ее закрепления, например с помощью электросварки, при этом не изменяются, а при эксплуатации уменьшается коррозионное разрушение в результате уменьшения времени действия на деталь влаги и устранения причины щелевой коррозии между поверхностью детали и загрязнением.

В отдельных случаях может иметь место согласованность требований эксплуатации и производства. Например, при унификации сборочных единиц и деталей можно максимально учесть требования противокоррозионной защиты. В то же время унификация позволяет уменьшить затраты средств на изготовление изделий в связи с увеличением массовости продукции. Кроме того, унификация позволяет перейти на более

совершенные формы организации производства.

Иногда невозможно удовлетворить все требования эксплуатации и производства относительно обеспечения оптимальной коррозионной стойкости изделия. Тогда изыскиваются компромиссные решения по наиболее полному удовлетворению важнейших требований. В таких случаях компромиссное решение можно рассматривать как оптимальное только применительно к конкретным производственным условиям, в которых намечается изготовление изделия, к конкретному времени, которое характеризуется определенным уровнем развития науки и техники.

Методы защиты изделий машиностроения от коррозии базируются на полном или частичном снижении активности факторов, определяющих развитие коррозионных процессов, и состоят в обеспечении в процессе конструирования минимальной площади контакта поверхности деталей с агрессивной средой, возможности удаления с поверхности деталей влаги и инородных частиц, минимальных напряжений и температурных перепадов в элементах конструкции, приспособленности конструкции к реализации технологических и эксплуатационных мер защиты от коррозии, а также в правильном выборе конструкционного материала и защитного покрытия.

## **2. ПЛОЩАДЬ КОНТАКТА ПОВЕРХНОСТИ СО СРЕДОЙ**

Выбор наиболее рациональных геометрических форм деталей, их взаимного расположения и расположения в пространстве — одна из эффективных мер защиты от коррозии при минимальных затратах. Детали в большинстве случаев имеют неравномерную по поверхности сте-

пень коррозионного разрушения: отдельные участки детали подвержены интенсивному разрушению, и в короткие сроки деталь или даже все изделие могут прийти в неработоспособное состояние, коррозионное разрушение других участков незначительно и не вызывает ощутимых потерь. Поэтому идеальна, с точки зрения коррозионной стойкости, конструкция, в которой обеспечены единообразные условия воздействия среды на всю поверхность детали.

Одним из путей повышения коррозионной стойкости изделия машиностроения является обеспечение минимальной площади контакта поверхности деталей с агрессивной средой.

Минимальная площадь контакта поверхности детали с агрессивной средой может быть достигнута путем рационального использования различных профилей проката, применения экономичных гнутых профилей, использования емкостей с минимальной площадью поверхности при нужном объеме, сокращения количества щелей, зазоров, мест скопления пыли, влаги, остатков технологических продуктов и других загрязнений, обеспечения введения коррозионноактивного вещества в качестве транспортируемого или перерабатываемого продукта на ограниченном участке технологической линии.

**Рациональное использование профилей проката.** Широкое распространение в машиностроении получили конструкции, изготовленные из уголков и швеллеров. Это объясняется невысокой стоимостью, простотой изготовления и массовостью производства этого вида проката. Однако уголки и швеллеры имеют большую поверхность, подвергающуюся воздействию коррозионной среды, а также содержат большое

количество щелей и зазоров, в которых накапливается влага и пыль.




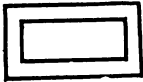
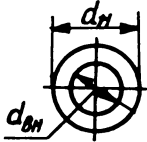
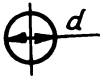
Во многих случаях сварную конструкцию, собранную из двух уголков, можно заменить профилем Т-образного сечения, а два швеллера — двутавровой балкой при одинаковом радиусе инерции сечений. При этом суммарная поверхность одного метра элемента из двух уголков размером  $75 \times 75$  мм равна  $0,3 \text{ м}^2$ , тогда как поверхность одного метра Т-образного сечения размером  $100 \times 125$  мм равна  $0,225 \text{ м}^2$ . Масса одного погонного метра элемента из двух уголков составляет  $14,5 \text{ кг}$ , а Т-образного сечения —  $12,5 \text{ кг}$ . Двутавровая балка размером  $200 \times 135$  мм может заменить два швеллера ( $200 \times 62,5$  мм). Общая поверхность одного метра двух швеллеров составляет  $1,2 \text{ м}^2$ , а двутавровой балки —  $0,9 \text{ м}^2$  при одинаковом радиусе инерции сечений.

Для характеристики устойчивости сечения против коррозии используется коэффициент  $\beta = F/0,383 P$ , где  $F$  — площадь сечения;  $P$  — наружный периметр, подвергающийся воздействию коррозионной среды;  $0,383$  — коэффициент устойчивости против коррозии сечения из уголков толщиной  $8 \text{ мм}$ , принимаемого за единицу [29].

С увеличением коэффициента  $\beta$  увеличивается, при прочих равных условиях, устойчивость сечения против коррозии. Наибольшей коррозионной стойкостью обладают сечения, имеющие круглые и квадратные сплошные формы, а также полые элементы, закрытые с торцов.

Значение коэффициента  $\beta$ , требуемое для конкретной среды, в которой скорость коррозии равна  $K$  (мм/год), определяется по формуле  $\beta_{\text{тр}} = K/0,05$ , где  $0,05$  — скорость коррозии в

# 1. Коэффициент устойчивости различных сечений против коррозии

Форма сечения	Размеры сечения, мм	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	P, см	β
	75×75×8	23,0	60,0	1,0
	100×100×12	45,5	80,0	1,49
	200	45,6	60,0	2,05
	100×100×12	45,5	40,0	2,98
	$d_H = 130;$ $d_{BH} = 12$	45,0	40,5	2,88
	$d = 76$	45,5	23,9	4,95

слабо агрессивной среде, принятой в качестве условной меры.

Коэффициенты устойчивости различных сечений против коррозии приведены в табл. 1 [29]. Как видно из таблицы, при одинаковой площади кольцевые, коробчатые, а также круглые сплошные сечения имеют коэффициенты  $\beta$  в несколько раз больше, чем сечения из уголков.

**Применение гнутых профилей.** В последнее время в конструкциях машин и оборудования

широко применяются конструктивные элементы из экономичных гнутых профилей, имеющих ряд преимуществ по сравнению с горячекатаными, штампованными и др. К таким преимуществам относятся меньшая масса при одинаковой несущей способности (в результате рационального распределения металла по сечению), сочетание требуемой формы поперечного сечения с практически любой длиной профиля, возможность замены одним гнутым профилем нескольких горячекатаных, соединенных сваркой, клепкой или болтами. На рис. 2

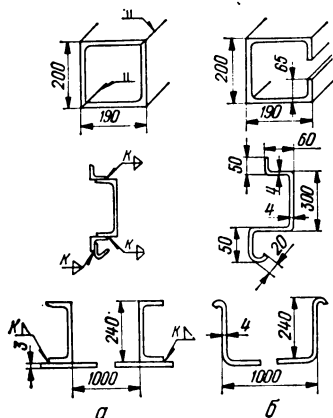


Рис. 2. Примеры замены сварных конструкций (а) готовыми гнутыми профилями (б).

приведены примеры замены сварных конструкций соответствующими гнутыми профилями. Как следует из приведенных примеров, гнутые профили имеют меньшую площадь поверхности, соприкасающейся с окружающей средой при одинаковой несущей способности. Кроме того, с использованием гнутых профилей устраняются щели, практически неизбежные в конструкциях со сварными, заклепочными или резьбовыми соединениями.

Экономический эффект применения 1 м гнутых профилей проката в среднем составляет 22,1 р. за счет экономии металла и сокращения трудовых затрат [27].

Использование вместо традиционных строи-

тельных профилей проката конструкций с прочными тонкими растяжками уменьшает площадь контакта изделия с внешней средой и придает ему более привлекательный, эстетичный вид.

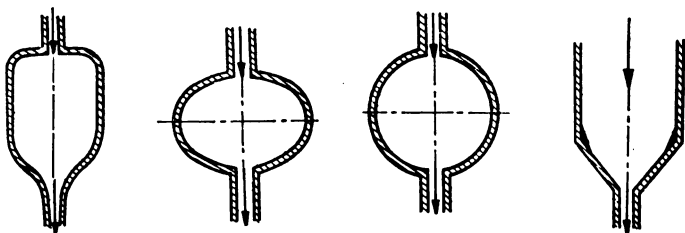


Рис. 3. Емкости, внутренние обводы которых обеспечивают незатрудненный и полный сток жидкости (в крайней правой емкости внутренняя поверхность заделана пластиком для придания ей обтекаемой формы).

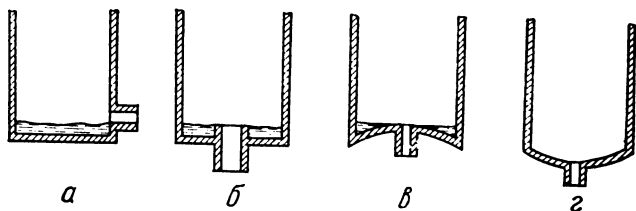


Рис. 4. Конструктивные решения дниц:  
а, б, в — неудачные; г — удачное.

**Использование емкостей с минимальной площадью поверхности.** Сокращение площади контакта поверхности емкости с агрессивной средой может быть достигнуто путем правильного ее конструирования. Наиболее эффективны обтекаемые формы, близкие к шару, которые обеспечивают минимальную площадь поверхности при нужном объеме. Внутренние обводы таких



емкостей обеспечивают полноту стока жидкости (рис. 3). Конструкция днищ и сливных отверстий должна исключать возможность скопления в полостях отстоя (рис. 4).

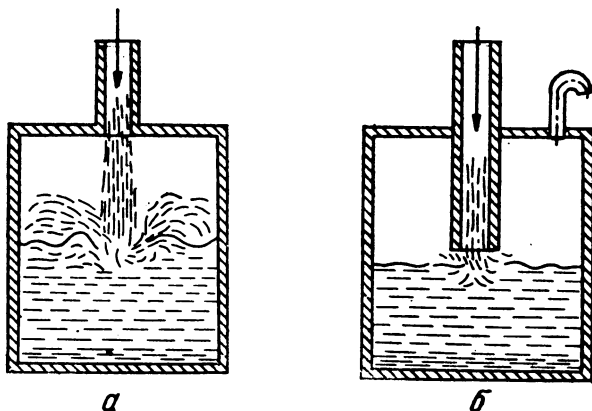


Рис. 5. Примеры вариантов заполнения емкости жидкостью:

*а* — неудачное решение (всплески жидкости вызывают образование осадков на стенках); *б* — удачное решение (наличие предохранительного клапана уменьшает всплески, трубка в верхней части емкости способствует уменьшению конденсата на стенках).

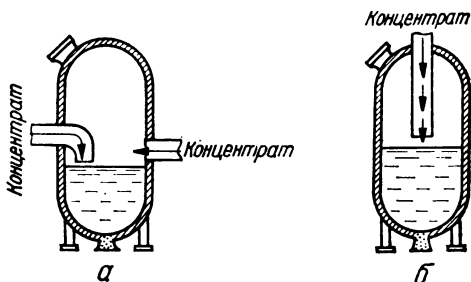
Для предотвращения образования всплесков жидкости и смачивания поверхности емкости, расположенной вне зоны контакта с агрессивной средой, конец подводящей трубы рекомендуется располагать вблизи центра емкости (рис. 5). Конструировать емкости для приготовления раствора необходимо таким образом, чтобы максимально удалить от стенок зону его ввода (рис. 6).

Емкости, частично заполненные коррозионно-активными растворами и содержащие их пары,

необходимо снабжать устройствами для удаления паров или же сообщать их (если это возможно) с атмосферой.

**Защита от коррозии в щелях, зазорах, местах скопления инородных частиц.** В изделиях

Рис. 6. Примеры неудачных (а) и более удачных (б) конструктивных решений обеспечения заливки концентратов в емкость.



машиностроения наибольшему воздействию коррозии подвержены щели и зазоры. Интенсивная коррозия развивается при этом не только в имеющихся конструктивных зазорах и щелях, но и во вновь возникающих в процессе эксплуатации изделий: между прокладочным материалом и металлом (при недостаточном уплотнении), между поверхностью детали и отслаивающимся лакокрасочным или металлическим покрытием, остатком технологического продукта и другим загрязнением. Например, щели образуются под растительными остатками на корпусе судна, под массой обрастания его микроорганизмами, осажженным песком и илом, под металлической и древесной стружкой и т. д.

На окрашенных поверхностях изделий машиностроения коррозионные разрушения чаще всего наблюдаются в местах скопления влаги и инородных частиц, у недостаточно загерметизи-

рованных щелей и зазоров, под декоративными планками (рис. 7).

Особенности электрохимического разрушения металлов в щелях и зазорах обусловлены за-

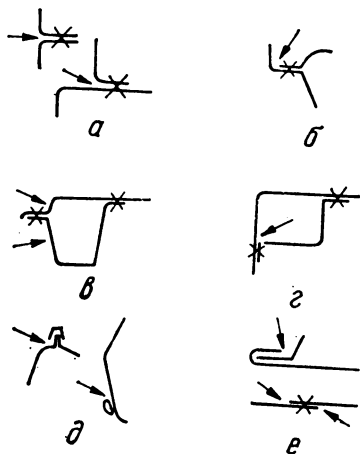


Рис. 7. Повреждаемые коррозионные места окрашенных поверхностей кузова автомобиля:

*а* — стыки листов металла; *б* — водоотводный желоб; *в* — балки и профили; *г* — внутренние поверхности; *д* — декоративные планки; *е* — фальцевые соединения и места соединения точечной сваркой.

трудненным доступом коррозионных агентов и пассиваторов из объема электролита в зазор и замедленным отводом из него продуктов реакций. Снижение концентрации кислорода на поверхности металла в зазоре способствует образованию преимущественно двухвалентных соединений железа, не обладающих защитными свойствами. Установлено, что такие металлы, как железо, цинк и алюминиевые сплавы системы Al—Zn—Mg—Cu (B95) и Al (Д-16), процесс коррозии которых

определяется скоростью катодной реакции, корродируют в щелях с меньшей скоростью, чем вне их. Однако коррозионный эффект в щелях вызван тем, что электролит в зазоре действует обычно более продолжительное время, чем на открытой поверхности. Сплавы, корродирующие с анодным контролем (например Х13, Х17, АМц, АМп), разрушаются в щелях сильнее, чем на

свободно омываемой электролитом поверхности [29]. Влияние анодного и катодного контроля на скорость коррозии в зазоре наглядно объясняется рис. 8.

Скорость коррозии в значительной степени зависит от величины зазора. С увеличением зазора она возрастает, а достигнув максимальной величины, резко уменьшается. При больших зазорах (0,7—1,0 мм) скорость коррозии значительно меньше, чем при минимальных.

Примером интенсивного коррозионного разрушения из-за неудачной формы конструктивных элементов может служить мост с решетчатыми стальными фермами [5]. Главные балки крайних пролетов моста выполнены в виде коробчатого сечения из двух двутавровых балок, сваренных по всей длине и закрытых по концам негерметичными перегородками. В балках возле опор вырезаны монтажные проемы, через которые внутрь коробчатого сечения попадала вода. Балки средних пролетов моста выполнены в виде решетчатой конструкции. Пояс представлял собой конструкцию из двух расположенных горизонтально двутавровых балок, которые образовали желоба, где скапливалась вода и пыль. Конструкция раскосов представляла собой наклонные желоба, подводящие воду к узлу, выполненному в виде открытой емкости, собирающей воду, пыль и т. п. Процесс коррозии в таких условиях проходил в три раза быстрее обыч-

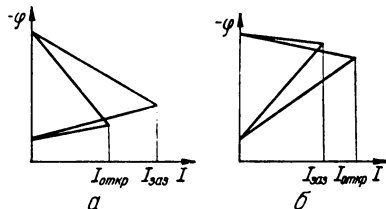


Рис. 8. Влияние анодного (а) и катодного (б) контроля на скорость коррозии в зазоре.

ного, и за год сечение двутавровых поясов уменьшилось на 0,28—0,33 мм. Описанную конструкцию моста можно было защитить от кор-

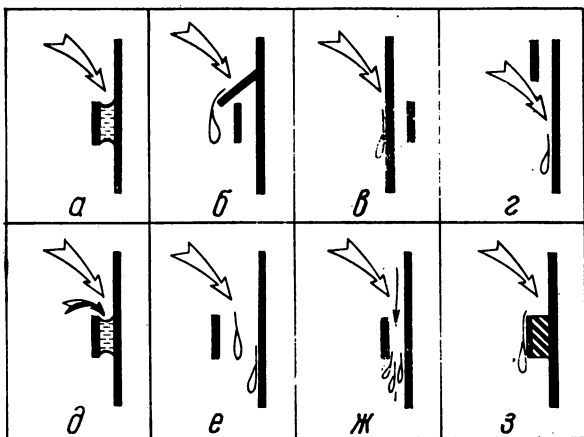


Рис. 9. Методы защиты от коррозии в щелях и зазорах:

*а* — конструктивный элемент со щелью (стрелкой показано направление попадания в щель агрессивной среды); *б, в, г* — расположение щелей и зазоров вне зоны действия агрессивной среды; *д* — введение в щели и зазоры ингибиторов коррозии; *е* — широкая щель не задерживает агрессивную среду; *ж* — расположение щели или зазора по ходу движения воздушного потока; *з* — уплотнение щели.

розии, предусмотрев в местах скопления влаги дренажные отверстия. Наклонные раскосы целесообразно было бы предусмотреть трубчатого или коробчатого сечения.

Экспериментально доказано, что коррозия металлов начинается на участках поверхности, расположенных по краям скопления загрязнений. Органические частицы и влага активизируют микрофлору, продукты жизнедеятельности которой, в свою очередь, вызывают коррозию.

Следует отметить, что коррозионное разрушение металла под слоем растительных и технологических остатков изучено недостаточно, несмотря на то что этот вопрос представляет значительный научный и практический интерес.

В большинстве случаев при конструировании изделий машиностроения невозможно избежать щелей и зазоров, поэтому необходимо принимать соответствующие меры защиты от коррозии (рис. 9): защищать щели и зазоры от попадания коррозионной среды, вводя дополнительные конструктивные элементы; компоновать конструкцию таким образом, чтобы участки со щелями и зазорами находились вне зоны действия коррозионной среды; предусматривать введение в щели и зазоры ингибиторов коррозии; с учетом особенностей конструкции делать щели достаточно широкими, чтобы коррозионная среда не могла в них задержаться; располагать щели по ходу движения воздушного потока, способного удалять коррозионную среду; уплотнять щели — это самая надежная и в большинстве случаев наиболее приемлемая мера защиты от коррозии.

Кроме щелей и зазоров, опасны в коррозионном отношении места скопления влаги и инородных частиц. Для защиты их от коррозии также применяется ряд конструктивных методов: вынесение мест возможного скопления влаги и инородных частиц за пределы зоны действия агрессивной среды, применение дренажных отверстий, введение ингибиторов коррозии, обеспечение возможности очистки и самоочистки конструкции, исключение мест возможного скопления влаги и инородных частиц (рис. 10).

В практике широко используется введение дополнительных конструктивных элементов для защиты от коррозии в щелях и зазорах. Напри-

мер, для защиты от попадания электролита во фланцевые соединения на крышках химических аппаратов и автоклавов предусматриваются специальные литые или приваренные кольцевые ребра (рис. 11). Оригинальным является ввод элект-

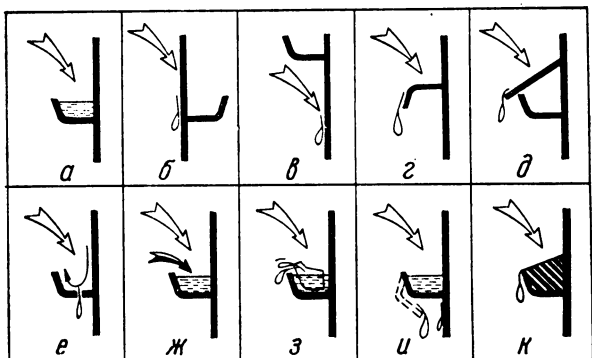


Рис. 10. Примеры защиты от коррозии мест скопления влаги и инородных частиц:

*а* — конструктивный элемент с возможным скоплением влаги и инородных частиц; *б, в, г, д* — расположение мест возможного скопления влаги и инородных частиц вне зоны действия среды; *е* — применение дренажных отверстий; *ж* — введение ингибиторов коррозии; *з* — обеспечение возможности очистки; *и* — обеспечение самоочистки конструкции от влаги и инородных частиц; *к* — заделывание мест возможного скопления влаги и инородных частиц.

тролита в аппарат не через штуцер, а через легко сменяемые патрубки наполнения (рис. 12) [30].

Значительный эффект достигается при такой компоновке изделия, когда конструктивные элементы со щелями и зазорами удалены от агрессивной среды.

При использовании резьбовых соединений, а также соединений контактной и дуговой сваркой конструктивные элементы необходимо располагать таким образом, чтобы влага, пыль и другие

инородные частицы не скоплялись в непосредственной близости от соединений (рис. 13). Уплотнительные прокладки по размеру должны строго соответствовать привалочным поверхностям (рис. 14). Если прокладки выступают за пределы детали или утопают в зазоре между ними, происходит щелевая коррозия. Значитель-

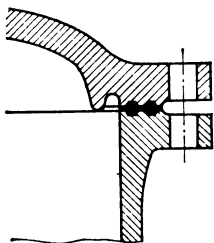


Рис. 11. Кольцевые ребра, предупреждающие попадание агрессивной среды во фланцы химического аппарата.

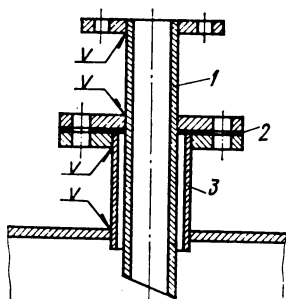


Рис. 12. Патрубок, предохраняющий прокладки от попадания агрессивной среды:

1 — патрубок; 2 — прокладка;  
3 — штуцер.

ный эффект достигается при использовании прокладочного материала в сочетании с ингибированными мастиками.

В последние годы ингибиторы коррозии начали широко применяться при травлении металлов, для защиты водопроводов и теплообменной аппаратуры, для защиты металлических изделий от сероводородной, углекислотной коррозии. Такие материалы, как масла, смазки, реактивное топливо, водовытесняющие жидкости и антиобледенительные составы, в настоящее время производятся, как правило, с ингибиторами.



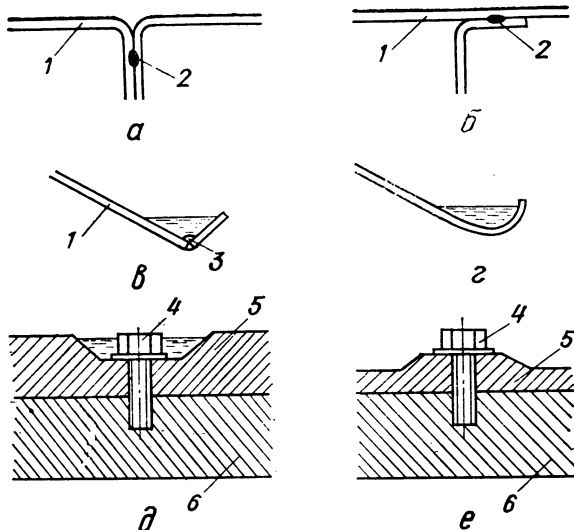


Рис. 13. Примеры соединения деталей:

*а, в, д* — неудачные решения; *б, г, е* — более удачные решения; 1 — деталь из листового материала; 2 — контактная сварка; 3 — электродуговая сварка; 4 — деталь резьбового соединения; 5, 6 — соединяемые детали.

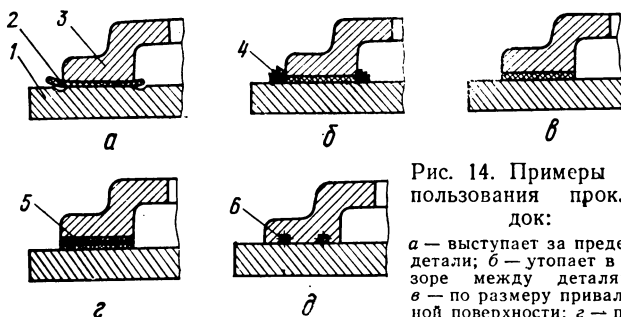


Рис. 14. Примеры использования прокладок:

*а* — выступает за пределы детали; *б* — утопает в зазоре между деталями; *в* — по размеру привалочной поверхности; *г* — промастикой; *д* — кольцевые 2 — прокладка; 4 — грязь, попавшая в зазор; 5 — ингибированные уплотнения; 1, 3 — соединяемые детали; 5 — ингибированные уплотнения; 6 — уплотнительное кольцо.

**2. Концентрации ингибиторов для защиты железа (в числителе) и чугуна (в знаменателе) от коррозии на открытых поверхностях и в зазорах**

Ингибитор	Концентрация ингибитора, г/л, для поверхности	
	открытой	в щели
$\text{NaNO}_2$	0,10	2,0
	0,95	11,5
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	0,07	1,2
	0,80	10,0
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	3,60	30,0
	—	—

Ряд ингибиторов — нитрат натрия, бихромат калия, двузамещенный фосфат и другие — при концентрациях, достаточных для защиты открытых поверхностей, не препятствуют интенсивной коррозии металла в щелях. Однако при увеличении концентрации эти ингибиторы можно использовать для защиты от коррозии в щелях и зазорах. Пример концентрации ингибиторов для электролита, состоящего из 30 мг/л  $\text{NaCl}$  и 70 мг/л  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , при зазоре 0,05 мм приведен в табл. 2 [31].

В машиностроении для соединения деталей, изготовленных из листового проката, наряду с применением резьбовых соединений, сваркой сплошным и прерывистым швом широко используется контактная сварка. Детали, соединенные контактной сваркой, представляют собой корродирующую систему с открытыми поверхностями, щелями и активизированными участками в зонах термического влияния. Наиболее распространенными дефектами деталей, соединенных контактной сваркой, являются коррозия в щелях между

детальями, коррозия и механические разрушения в местах сварки.

Механизм разрушения деталей, соединенных контактной сваркой, показан на рис. 15 [17]. В связи с тем что продукты коррозии имеют больший объем, чем металл, они заполняют всю щель между соединенными деталями (рис. 15, б).

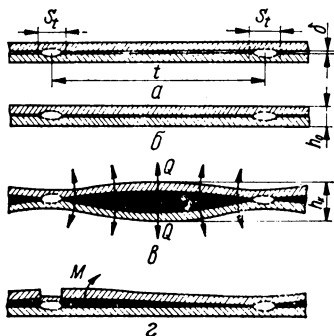


Рис. 15. Механизм коррозионного разрушения деталей, соединенных контактной сваркой:

*a* — исходное состояние соединенных деталей; *б* — начальный период заполнения продуктами коррозии зазора между деталями; *в* — деформация деталей продуктами коррозии; *г* — разрушение деталей в местах сварки;  $S_t$  — зона термического влияния сварки;  $t$  — шаг контактной сварки;  $\delta$  — начальный зазор между деталями;  $h_0$  — начальная толщина соединенных деталей;  $h_k$  — толщина деталей, деформированных продуктами коррозии.

По мере накопления в щели продуктов коррозии возникают усилия  $Q$ , действующие на соединенные детали и способствующие их деформации (рис. 15, в) или механическому разрушению в местах сварки (рис. 15, г).

Установлено, что с течением времени толщина пакета деталей из стали СтЗкп, соединенных контактной сваркой, увеличивается (рис. 16). При этом с увеличением шага сварки увеличивается приращение толщины пакета деталей.

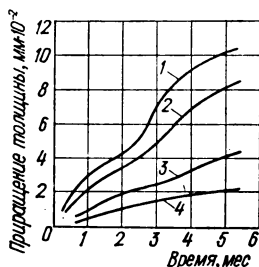
Как видно из данных, приведенных на рис. 17, для каждого значения толщины сваренного металла при изменении шага сварки характерны определенные участки с повышенной интенсивностью нарастания толщины пакета сваренных деталей. Так, для толщины металла 1,0 мм (кри-

вая 1) этот участок находится в интервале шагов сварки от 55 до 75 мм, для 1,5 мм (кривая 2) от 65 до 85 мм, для 3,0 мм (кривая 3) — от 85 до 115 мм.

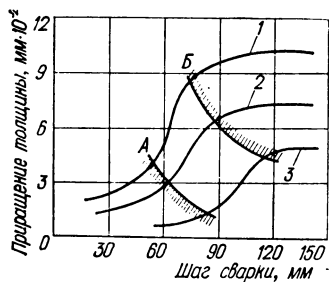
Линиями А и Б на рис. 17 условно соединены соответственно начало и конец участков с повышенной интенсивностью нарастания толщи-

Рис. 16. Зависимость приращения толщины пакета соединенных контактной сваркой деталей от времени испытания в водном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  при шаге контактной сварки, мм:

1 — 135; 2 — 75; 3 — 55; 4 — 25.



ны пакета сваренных деталей. От начала координат до линии А находятся соединения с вариантами шага сварки, при которых накопление продуктов коррозии незначительно сказывается на изменении геометрических параметров соединенных деталей. Здесь накопление в щели продуктов коррозии уменьшает со временем актив-



ную поверхность анода, затрудняет доступ электролита, а также увеличивает сопротивление системы коррозии. Между линиями А и Б

Рис. 17. Зависимость приращения толщины пакета соединенных контактной сваркой деталей от шага сварки.

находятся соединения с нежелательными вариантами шагов сварки, так как здесь интенсивное

развитие коррозионных процессов приводит к значительной деформации деталей. Увеличение шага сварки после линии *Б* приводит к незначительному повышению интенсивности приращення толщины пакета деталей, что объясняется

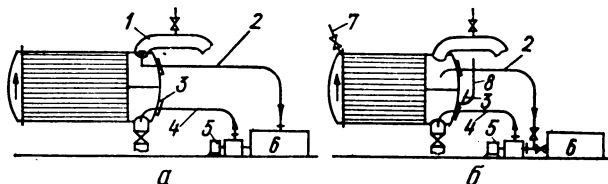


Рис. 18. Схемы кислотной промывки конденсаторов:

*а* — неудачное решение; *б* — удачное; 1 — обратная линия; 2 — воронка обратной линии; 3 — термометр; 4 — подвод; 5 — насос; 6 — резервуар; 7 — деаэратор; 8 — указатель уровня кислоты.

возможностью частичного удаления продуктов коррозии из зазоров значительных размеров. Приведенные данные позволяют выбрать шаг контактной сварки с учетом коррозионного разрушения в зазоре между соединяемыми деталями.

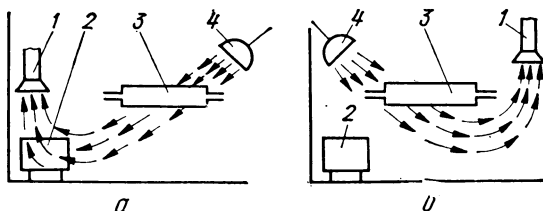


Рис. 19. Примеры неудачного (*а*) и удачного (*б*) расположения оборудования при наличии брызг горячего рассола и пара:

1 — вытяжная труба; 2 — пульт управления; 3 — испаритель, создающий агрессивную среду; 4 — вентилятор.

**Коррозионно-активные вещества на ограниченном участке.** В отдельных случаях уменьше-

ния коррозионного разрушения металлических поверхностей можно добиться путем обеспечения введения коррозионно-активного вещества на ограниченном участке технологической линии. Например, эффективен способ очистки котлов с помощью растворов соляной и серной кислот при  $\text{pH}=4$  и температуре  $100^\circ\text{C}$  [38]. На рис. 18 приведена схема кислотной промывки, где резервуар не подвергается воздействию кислоты.

Иногда простой перестановкой оборудования в пределах проектируемого объекта удастся вывести часть изделий из зоны действия коррозионно-активной среды (рис. 19) [24].

### **3. УДАЛЕНИЕ ВЛАГИ И ИНОРОДНЫХ ЧАСТИЦ**












Для увеличения коррозионной стойкости деталей при конструировании необходимо обеспечить возможность удаления с их поверхности влаги и инородных частиц.

Скорость испарения влаги с поверхности в значительной степени зависит от конфигурации сечения конструктивного элемента. Как следует из данных, приведенных в табл. 3, элементы из двух уголков со щелью, с Н-образным сечением, тавровые и двутавровые с широкими полками являются наименее коррозионностойкими [29].

Кроме того, скорости коррозии отдельных участков профилей значительно отличаются друг от друга. На рис. 20 приведены примеры распределения коррозии по периметру алюминиевых профилей из сплава АМг5ВМ при воздействии сернистой нефти [29]. Для оценки коррозионной стойкости профилей используется коэффициент неравномерности коррозии

$$R = K_{\max}' / K_{\min}'$$

### 3. Характеристика коррозионной стойкости некоторых конструктивных элементов

Профиль	Скорость коррозии во влажной камере, мм/год	Относительная коррозионная стойкость	Относительная скорость испарения влаги при обтекании воздухом
	0,112	1,00	1,00
	0,127	1,13	1,15
	0,130	1,16	1,30
	0,131	1,17	1,23
	0,142	1,27	1,23
	0,146	1,30	1,46
	0,152	1,35	2,23
	0,174	1,55	1,40
	0,179	1,60	1,23
	0,199	1,80	1,90
	0,213	1,90	1,60

где  $K'_{\max}$ ,  $K'_{\min}$  — соответственно максимальная и минимальная скорости коррозии, наблюдаемые на каком-либо участке профиля.

Для алюминиевых профилей, расположенных горизонтально в паровоздушной среде нефтяно-

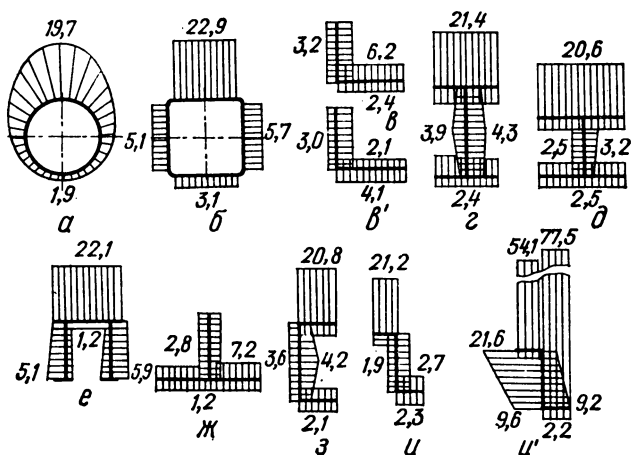


Рис. 20. Распределение коррозии по периметру поперечного сечения профилей из сплава АМг5ВМ при коррозии в нефтяном резервуаре в течение 11 мес:

а—и — паровоздушная среда, горизонтальное расположение профилей; б— паровоздушная среда, вертикальное расположение профиля; ж — жидкая среда. Цифрами на эпюрах обозначена общая коррозия, мг.

го резервуара,  $R=2,28...18,43$ , для таких же профилей из сплава АМг5ВМ, расположенных в горизонтальном положении в зоне переменного погружения,  $R=35,21$ . Для остальных профилей, используемых в паровоздушной фазе в горизонтальном положении,  $R=16,8...17,24$ , а в зоне переменного погружения  $R=3,0...70,0$ .

При конструировании машин и оборудования необходимо учитывать неравномерность корро-



зионного разрушения участков конструктивных элементов и по возможности выбирать профили с лучшей обтекаемостью.

Интенсивное испарение влаги с элементов конструкции обеспечивается в том случае, когда

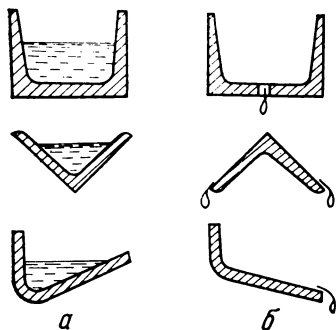


Рис. 21. Конструктивные решения использования дренажных отверстий, обтекаемых и наклонных поверхностей:

*а* — неудачные; *б* — более удачные.

устраняется возможность ее скопления в больших объемах. Для этого рекомендуется использовать дренажные отверстия, обтекаемые и наклонные поверхности (рис. 21).

В качестве примера неудачного конструктивного решения можно привести нижнюю часть заднего борта (клапана) подборщика-стогообразователя СТП-60, представляющую собой сварную корытообразную конструкцию из швеллера, которая не обеспечивает стока влаги. Подборщик-стогообразователь используется и хранится под воздействием атмосферных осадков, что вызывает из-за отсутствия стока влаги интенсивную коррозию нижней части заднего борта. Улучшить конструкцию заднего борта можно следующими способами: предусмотреть в швеллере дренажные отверстия для обеспечения стока влаги; заменить деталь из швеллера деталью

из трубы; расположить швеллер большей полкой кверху.

Одним из путей обеспечения удаления с поверхности деталей влаги и инородных частиц является подбор текстуры и смачиваемости поверхностей. При грубой текстуре поверхности детали происходит ее интенсивное коррозионное разрушение. Это объясняется тем, что к участкам металла в углублениях поступает кислорода меньше, чем к участкам на гребнях. В связи с этим при взаимодействии нейтральной или щелочной среды, когда процесс коррозии металла идет с кислородной деполяризацией, на участках с большой концентрацией кислорода значение положительного потенциала выше, чем на участках с меньшей концентрацией кислорода. Вследствие дифференциальной аэрации возникает коррозионный микроэлемент. Кроме того, на детали собираются и удерживаются влага, пыль, грязь, остатки перерабатываемых и транспортируемых продуктов, которые, в свою очередь, могут способствовать размножению микроорганизмов и протеканию процессов биокоррозии. При грубой текстуре затрудняется нанесение качественных гальванических покрытий.

Необходимо добиваться, чтобы поверхности деталей были гладкими, без заметных выступов, царапин, пустот и складок металла. На рис. 22 приведены примеры устранения дефектов поверхности.

Существенное влияние на коррозионную стойкость деталей оказывает характер обработки поверхности. Так, признаки коррозии во влажной атмосфере на поверхности углеродистой стали возникают при полировании на сукне через 28 сут, при полировании наждачной бумагой 5/0 или 4/0 — через 20, 2/0 или 1/0 — через 12; при

полировании наждачной бумагой № 2 или № 1, обработке напильником или на токарном станке — через 10 сут.

В системах трубопроводов необходимо предусматривать устройства для освобождения от

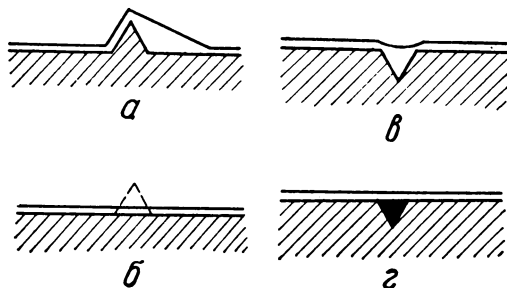


Рис. 22. Устранение дефектов поверхности:

*a* — неудачное перекрытие выступа защитным покрытием; *б* — выступ срезан; *в* — неудачное углубление (резкие перепады по толщине покрытия вызовут дефекты покрытия); *г* — заполнение углубления мягким металлом, пластиком или пластмассово-металлическими наполнителями.

влаги сжатого воздуха, газов и паров (рис. 23), а в трубопроводах, транспортирующих жидкости, обеспечивать удаление воздуха и газа (рис. 24) [24].

Очень важно в конструкциях машин предусматривать быстросъемные люки, крышки и т. п. для доступа к местам очистки от пыли, грязи, технологических остатков. Примерами таких машин могут служить зерноуборочные комбайны «Нива» и «Колос», конструкцией которых предусмотрен доступ к местам очистки от остатков соломы и зерна.

Возможны различные варианты устройств и систем для активной и пассивной очистки и самоочистки изделий от загрязнения. Активная

очистка или самоочистка от загрязнений предполагает наличие специальных рабочих органов, посредством которых осуществляется удаление загрязнений с поверхностей деталей, пассивная — удаление загрязнений без непосредственного контакта с загрязнением.

В качестве примера активной самоочистки можно привести поилку для животных [1]

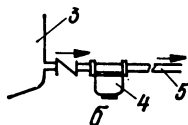
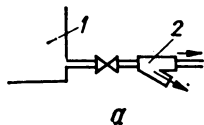


Рис. 23. Удаление воды из трубопровода, транспортирующего сжатый воздух, газ или пар:

*a* — сток влаги; *б* — улавливание влаги; 1 — генератор газа или пара; 2 — устройство для стока воды; 3 — воздушный ресивер; 4 — влагоулавливатель; 5 — труба.

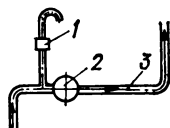


Рис. 24. Удаление воздуха и газа из трубопровода, транспортирующего жидкость:

1 — воздухоотделитель; 2 — насос; 3 — труба.

(рис. 25). С целью обеспечения самоочистки чаша 1 поилки ее дно выполнено по дуге окружности радиусом, равным расстоянию от оси качания 4 крышки 2 до ее нижней кромки, которая выполнена по форме дна чаши. При нажатии животными на крышку 2 клапан 3 открывается и вода поступает в чашу 1. По окончании поения крышка 2, закрываясь под действием пружины 5, очищает своей нижней кромкой чашу от остатков корма и грязи, занесенных в нее животными.

Примером пассивной самоочистки может служить поилка для животных [21], которая имеет емкость 1 (рис. 26), разделенную на участки, ограничивающие поильные места, патрубки 2,

кран 3 и сливную трубу 4. После окончания поения вручную открывают кран 3, остатки корма, занесенные животными в поилку, увлекаются водой и через патрубки 2 и сливную трубу 4 удаляются в канализацию.

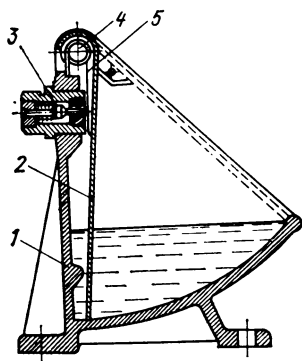


Рис. 25. Поилка для животных с активной самоочисткой.

На рис. 27 приведен пример пассивной очистки кормушки для животных [12]. При перемещении кормораздатчика 3 вдоль желоба 8 кормушки штанга 5 зацепляет гибкий элемент 4, натягивая его, поворачивает желоб относительно шарнира 7 и растягивает возвратную пружину 1. Дальнейшее движение

кормораздатчика обеспечивает опрокидывание желоба и удаление из него остатков корма. По

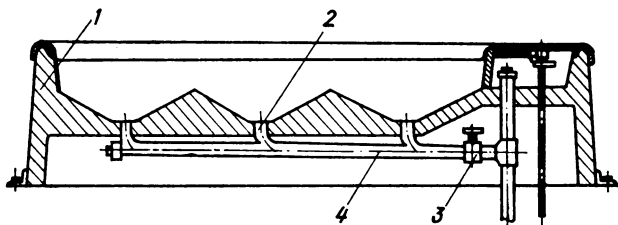


Рис. 26. Поилка для животных с пассивной самоочисткой.

окончании взаимодействия штанги с гибким элементом желоб с помощью пружины возвращается в исходное положение.

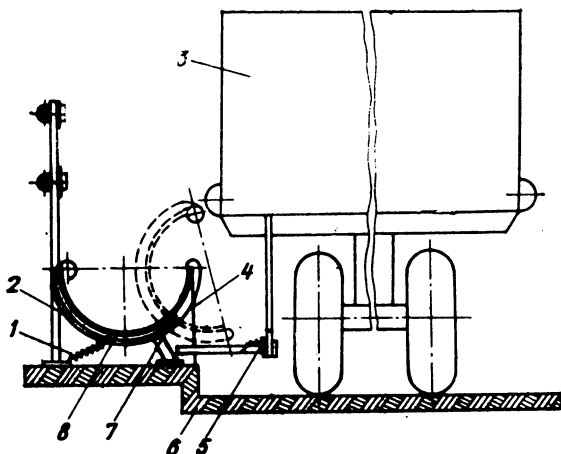


Рис. 27. Кормушка для животных:

1 — пружина; 2 — каркас; 3 — кормораздатчик; 4 — гибкий элемент; 5 — штанга; 6 — основание; 7 — шарнир; 8 — желоб кормушки.

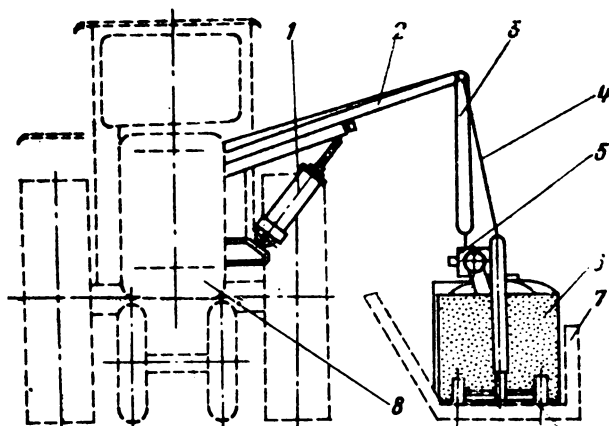
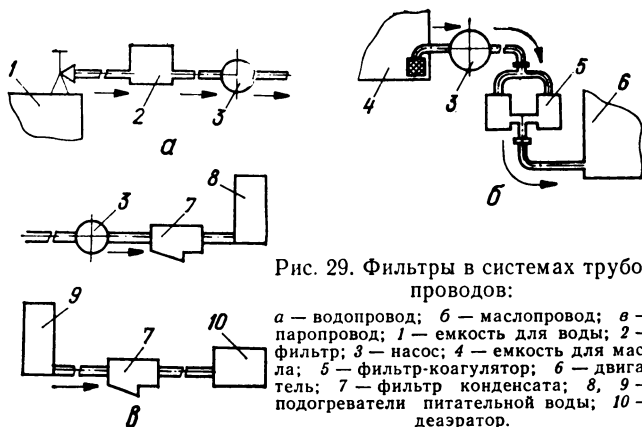


Рис. 28. Устройство для очистки кормушки:

5 — гидроцилиндры; 2 — рама; 3 — тяговый элемент; 4 — цепь; 6 — щеточный рабочий орган; 7 — кормушка; 8 — трактор.



Для очистки кормушек от остатков корма иногда используются устройства с активными щеточными рабочими органами [21] (рис. 28).

Для обеспечения удаления из системы трубопроводов ржавчины, наносов и других загрязнений используются специальные фильтры (рис. 29).

#### 4. НАПРЯЖЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПЕРЕПАДЫ

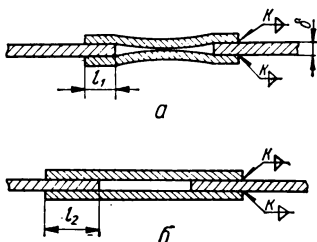
Остаточные напряжения или приложенные извне нагрузки способствуют образованию локальных гальванических элементов, в связи с чем на участках металла, подверженных действию наибольших напряжений, проявляются коррозионные поражения.

Для уменьшения остаточных напряжений при конструировании следует отдавать предпочтение сварным соединениям перед сборкой деталей с помощью клепки. Однако и при соединении деталей электросваркой в наплавленном валике и в зоне термического влияния создаются значи-

тельные по величине остаточные напряжения. В результате неравномерного распределения температуры при сварке создаются остаточные напряжения первого рода, уравновешенные в пределах всей конструкции, и напряжения второго рода, уравновешенные в пределах зерен металла и не зависящие от размеров изделия.

Рис. 30. Примеры неудачных (а) и более удачных (б) решений сварки с нахлесткой:

$l_1$  — недостаточная нахлестка;  
 $l_2$  — нахлестка, равная не менее  $5\delta$ , где  $\delta$  — толщина детали, соединяемой с помощью сварки.



При использовании в конструкции сварных соединений для снижения остаточных напряжений после сварки следует сокращать скопления швов, их пересечения, образование замкнутых контуров, ограничивать применение сварки внахлестку, используя сварку встык, обеспечивать плавные переходы между свариваемыми деталями, снимать остаточные напряжения после сварки термической обработкой всей конструкции или, при больших ее габаритных размерах, местной термической обработкой зоны сварного шва [20].

В сварных соединениях необходимо избегать недостаточной нахлестки (рис. 30), швов с неполным проплавлением (рис. 31), прерывающихся швов (рис. 32). Сварные швы необходимо располагать на удобных для обработки участках (рис. 33). При сварке встык деталей, имеющих различную толщину, возникают остаточные напряжения, которые приводят к усиле-



нию коррозии. С целью уменьшения коррозии предусматривают уравнивание толщин свариваемых деталей в месте шва.

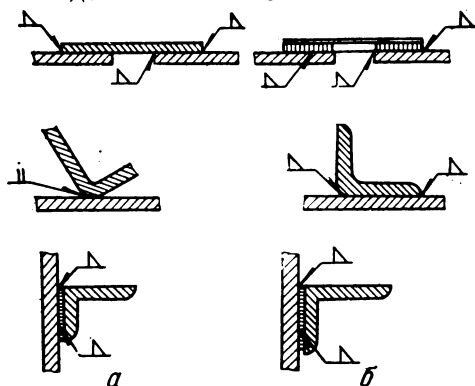


Рис. 31. Примеры сварных швов с неполным (а) и полным (б) проплавлением.

Для обеспечения повышенной коррозионной стойкости сварных соединений в процессе конструирования необходимы правильный расчет, исключение конструктивных концентраторов напряжений, избежание наложения швов в высо-

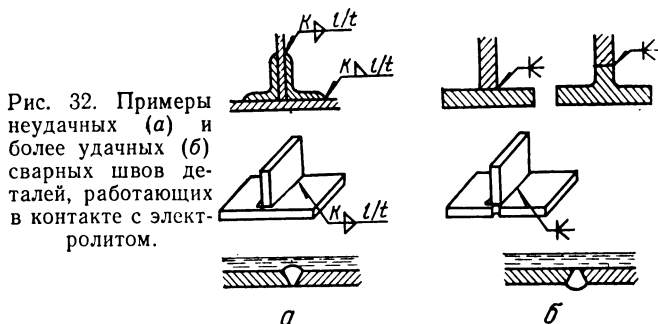


Рис. 32. Примеры неудачных (а) и более удачных (б) сварных швов деталей, работающих в контакте с электролитом.

конапряженных зонах конструкций, уменьшение величины жесткости схемы и размеров зон остаточных напряжений [38]. Остаточные сварочные

напряжения, суммируясь с напряжениями от рабочих, вызывают опасность коррозионного растрескивания.

Опоры под машины и оборудование должны обладать достаточными для нормального функ-

Рис. 33. Примеры неудобных (а) и удобных (б) доступов для обработки сварных соединений.

ционирования с жесткостью и резонансной частотой, отличающейся от частоты вынужденных колебаний работающих изделий.

Оборудование или отдельные конструктивные элементы не следует жестко соединять одновременно с несколькими конструкциями, каждая из которых может прогибаться под действи-

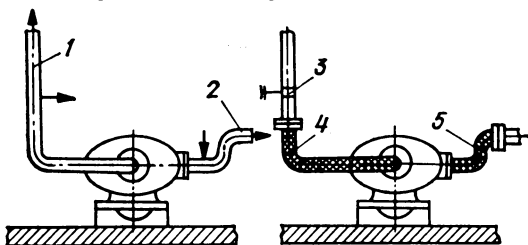
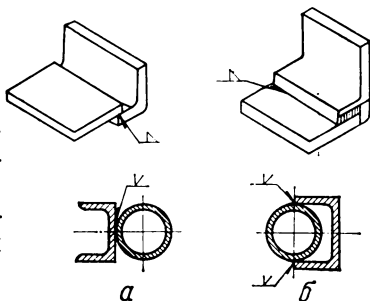


Рис. 34. Жесткое и эластичное соединения конструктивных элементов;

1, 2 — длинные металлические трубы; 3 — кронштейн; 4, 5 — гибкие шланги.

ем статических или динамических нагрузок (рис. 34).

При разработке изделия необходимо стремиться к тому, чтобы все детали имели одина-

ковый запас прочности независимо от вида усталостной нагрузки. В ответственных случаях следует добиваться более равномерного распределения местных напряжений в зоне концентраторов напряжений (рис. 35). Обеспечить мини-

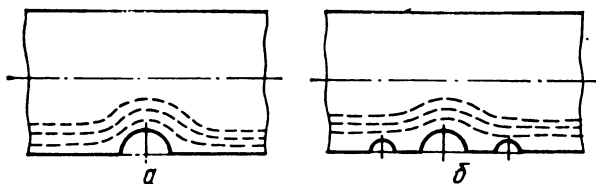


Рис. 35. Использование вырезов для более равномерного распределения напряжений:

*a* — вырез создает концентрацию напряжений; *б* — дополнительные вырезы с обеих сторон снижают концентрацию напряжений.

мальную концентрацию напряжений иногда удастся выбором формы и расположения проточки (рис. 36).

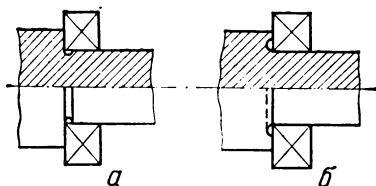


Рис. 36. Примеры неудачного (*a*) и удачного (*б*) расположения проточки.

Необходимо избегать суммирования остаточных напряжений и напряжений от рабочих нагрузок, а также учитывать возможность перераспределения остаточных напряжений в процессе эксплуатации по величине и направлению.

Участки вблизи сварных соединений подвержены межкристаллитной коррозии в слабой кислоте, поэтому конструкционные сплавы, предназначенные для работы в такой среде, не должны содержать углерода более 0,03 %. Кроме того, следует применять методы дуговой сварки в среде инертного газа, что позволит снизить склонность сварных соединений к межкристаллитной коррозии [46].

Для уменьшения напряжений в трубопроводах необходимо обеспечивать их гибкость, изменяя направление укладки с помощью колен, петель и отводов и компенсируя тепловые расширения путем применения гофрированных труб и сифонов, шаровых соединений и других компенсаторов. Опоры, крепления и ограничители не должны препятствовать свободному перемещению труб, обусловленному работой опорной конструкции, а также их тепловым расширением и сжатием. Необходимо использовать поперечные связи и гасители колебаний, допускающие движение трубопровода под действием вибраций.

Следует избегать соединения труб в местах действия максимальных напряжений, создаваемых, например, свободно провисающим концом трубы. Проходящая через перегородку вибрирующая труба должна быть пропущена через отверстие диаметром больше диаметра трубы, зазор должен быть уплотнен специальным составом.

Применение гибких рукавов может предотвратить возникновение в трубопроводах напряжений вследствие смещений, вызванных несоосностью труб, вибрациями и толчками, возвратно-поступательным движением, случайными сдвигами, тепловым расширением и сжатием.

Компенсация растяжений и сжатий в подземных трубопроводах может быть осуществлена укладкой в траншеях участков пластиковых труб с извилистым залеганием.

Следует учитывать, что дефекты типа газовых раковин, перекрытий, надразов, подрезов,

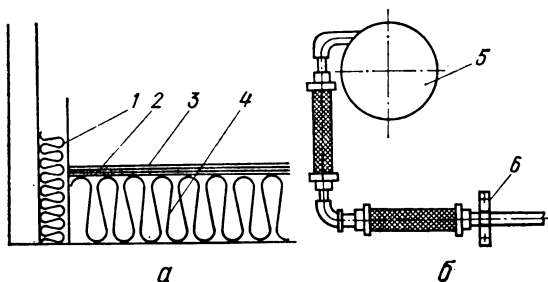


Рис. 37. Изолирование от вибраций:

*a* — палубное покрытие; *б* — компрессор; 1, 4 — изолирующий материал; 2 — закрепленный стальной лист; 3 — покрытие; 5 — компрессор; 6 — хомут для крепления.

неметаллических включений, щелей и трещин могут действовать как участки с повышенными остаточными растягивающими напряжениями. Единственным конструкционным материалом, не чувствительным к надразам, является армированный пластик.

Для предупреждения концентрации напряжений необходимо предусматривать снятие фасок, удаление заусенцев с помощью шлифования, фрезерования или полировки.

Необходимо избегать ослабления нагруженных деталей в точках максимальных напряжений, вызванных резкими изменениями сечения, острыми углами, канавками, шпоночными пазами, отверстиями для смазки, резьбами и т. д. Следует стремиться к тому, чтобы исключить

деформацию материала около сварных швов, заклепок, отверстий под болты, прессовых и горячих посадок.

Конструкция изделия должна обеспечивать возможность ее сборки без дополнительных на-

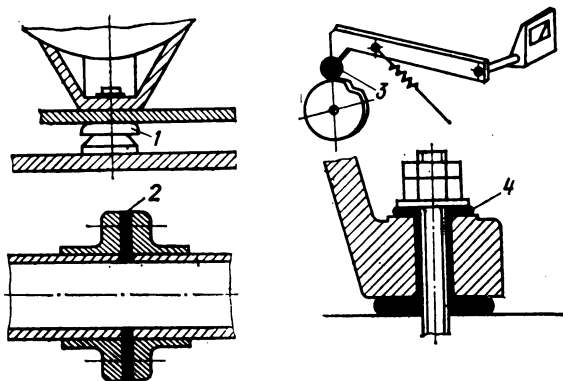


Рис. 38. Устройства для поглощения вибраций:

1 — амортизирующее крепление; 2 — прокладка или муфта из эластичного материала; 3 — ролик из эластичного материала; 4 — крепление из эластичного материала.

грузений одних конструктивных элементов другими.

Для сведения к минимуму коррозионной усталости, вибраций и неустойчивых колебаний нагруженного оборудования и сооружений в коррозионных условиях рекомендуются следующие меры [24]: изолирование от вибраций (рис. 37); их поглощение (рис. 38); гашение вибраций путем применения опор специальной конструкции (например, заполненных песком колонн), введения специальных глушителей, обкладки поглотительными материалами, нанесения гасящих колебания покрытий; снижение характеристики

возбуждения — изменение частоты (увеличение частоты собственных колебаний); регулирование жесткости сооружений (например, увеличением инерции поперечного сечения благодаря использованию отбортовок, ребер жесткости и фланцев; применение двутавровых сечений с узкими полками, круглых и квадратных полых сечений и т. д.); изменение крепления путем использования угловых подкосов, обеспечивающих жесткую связь вместо простых (шарнирных) опор; перераспределение массы; уменьшение эффективной длины конструктивных элементов путем установки распорок параллельно направлению колебательного движения.

Если остаточные или создаваемые нагружением напряжения могут повлиять на надежность функционирования изделия, следует выбирать для его изготовления материалы, стойкие к межкристаллитной коррозии и коррозионному растрескиванию.

Для предотвращения водородной хрупкости рекомендуется вместо нанесения гальванических и химических металлопокрытий применять защиту методом вакуумного осаждения, металлизацию, облицовку металлом, нанесение органических покрытий или другие процессы, при которых не происходит выделения водорода. При этом для стальных сосудов, в которых возможно возникновение водородной хрупкости, применение металлических, органических и неорганических покрытий можно рекомендовать только при условии, если эти сосуды изготовлены не из высокопрочных сталей, сооружения не находятся под создающими высокие напряжения нагрузками, покрытия не содержат химически активного цинка или другого металла, который в конкретных условиях среды способен электрохими-

чески реагировать с образованием и выделением газообразного водорода [24].

При конструировании изделий необходимо исключить возможность появления в деталях

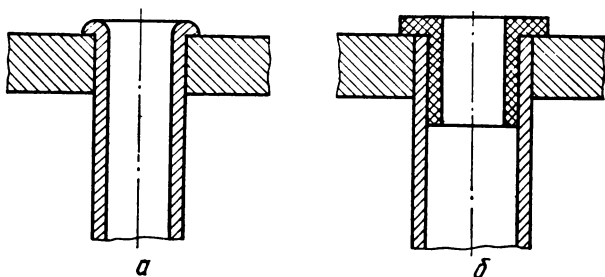
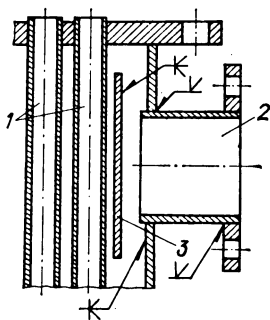


Рис. 39. Защита концов теплообменных трубок от обгорания методами закатки (а) и установки керамических втулок (б).

Рис. 40. Защитный щиток, предохраняющий трубки теплообменника от коррозии и износа:

1 — теплообменные трубки; 2 — паровой патрубок; 3 — предохранительный щиток.



температурных перепадов. Завихрения и местные перегревы влекут за собой обгорание деталей аппаратуры, в особенности концов труб, ребер и перегородок. Перегрев отдельных элементов конструкции можно устранить путем



улучшения аэродинамики газового потока, эффективным отводом тепла, установкой специальных защитных экранов.

В трубчатых теплообменниках концы трубок защищают от обгорания путем их закатки либо

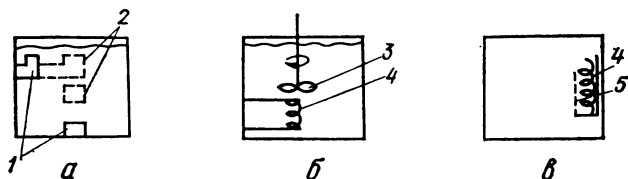


Рис. 41. Примеры расположения в сосуде нагревательных элементов:

*а* — закрытые нагреватели; *б, в* — открытые спиральные нагреватели; 1 — неудачное расположение нагревательных элементов (нагревается небольшое скопление раствора); 2 — предпочтительные положения для нагревателей; 3 — мешалка; 4 — нагреватель; 5 — защитный экран (перфорированная стенка).

установкой жароупорных шамотных или фарфоровых втулок (рис. 39). Установкой съемных отражательных щитков защищают от разрушения теплообменные трубки, расположенные против паровых патрубков (рис. 40) [11].

Для предотвращения местных нагревов рекомендуется нагреватели и нагревательные змеевики размещать вблизи центра сосуда (рис. 41).

При конструировании теплообменников, холодильников, нагревателей, конденсаторов необходимо соблюдать следующие требования: приваривать трубы к трубным решеткам, а не соединять развальцовкой; устанавливать трубы так, чтобы они выступали за плоскость трубных досок; ставить втулки (из металла, имеющего более высокое сопротивление, или из пластика) во входные концы трубок конденсатора; делать фаски на концах втулок, чтобы не было уступов; обеспечи-

вать поступление свежей охлаждающей воды в периферийные зоны трубного пучка (рис. 42).

При прокладке трубопроводов-теплоносителей следует избегать возникновения горячих участков в местах непосредственного контакта трубы с промежуточной опорой (рис. 43), которые могут стать причиной концентрации напряжений, вызывающих коррозионное разрушение.

В условиях воздействия агрессивной среды температурные перепады могут стать причиной даже аварийного коррозионного разрушения. Примером может служить неудачное конструктивное решение вертикальных конденсаторов, в которых верхние концы трубок растрескались под действием коррозии после 6—12 мес эксплуатации [29]. Конденсатор эксплуатируется в следующих условиях: максимальная температура — 155 °С, температура сконденсированной на дне жидкости 60 °С; охлаждающая вода, содержащая 100 мг/л хлор-ионов, поступает на дно при температуре 35 °С, а в верхней части трубок ее температура достигает 80 °С; верхняя часть трубок заполняется неравномерно, изменяется объем пара; у поверхности раздела жидкость — пар создаются условия для осаждения солей, содержащих хлор-ионы. Для повышения долговечности конденсаторов в конструкцию их внесены

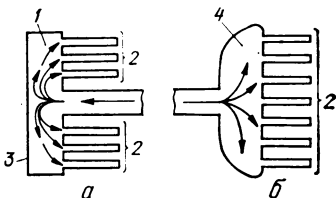


Рис. 42. Примеры неудачного (а) и удачного (б) решения, обеспечивающего поступление охлаждающей воды в периферийные зоны трубного пучка:

1 — прямоугольная водяная камера; 2 — трубы; 3 — место разрушения на периферийном участке из-за плохого доступа свежей воды; 4 — водяная камера обтекаемой формы.

следующие изменения: предусмотрено равномерное обтекание трубной доски, с тем чтобы обеспечить полное смачивание и исключить появление паровых карманов; изменено направление потока охлаждающей воды со встречного на

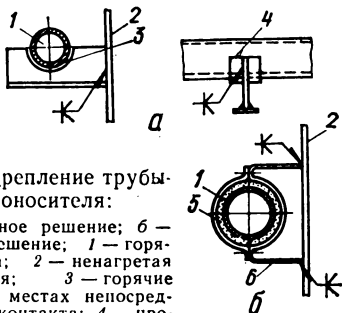


Рис. 43. Крепление трубы-теплоносителя:

*a* — неудачное решение; *б* — удачное решение; 1 — горячая труба; 2 — ненагретая конструкция; 3 — горячие участки в местах непосредственного контакта; 4 — промежуточная опора, обеспечивающая минимальную площадь контакта; 5 — асбест; 6 — узкий крепежный хомут.

прямой; обеспечено повышение скорости охлаждающей воды, что позволило температуру воды на входе поддерживать на уровне  $35^{\circ}\text{C}$ , а на выходе —  $55^{\circ}\text{C}$ .

Примером конструктивного решения, предотвращающего коррозионное растрескивание, может служить защита корпуса колонны синтеза аммиака. Сущность защиты заключается в том, что наружный толстостенный корпус колонны отделяется от горячих внутренних частей потоком быстро движущегося холодного газа, поступающего для реакции [8].

Необходимо учитывать, что скорость коррозии в значительной мере зависит от скорости движения электролита. Так, скорость коррозии

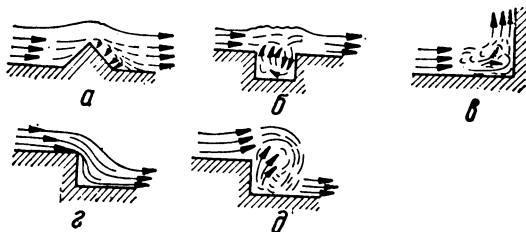


Рис. 44. Влияние геометрической формы поверхности на характер движения потока жидкости:

*а* — выступ; *б* — канавка или зазор; *в* — прямой угол; *г* — ступенька при малой скорости потока; *д* — ступенька при большой скорости потока.

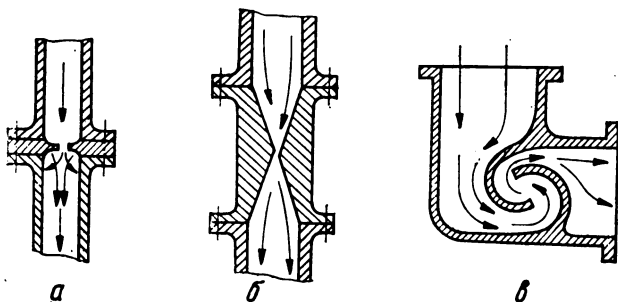


Рис. 45. Обтекаемость форм внутренних поверхностей элементов трубопроводов:

*а* — дроссельная шайба (неудачное решение, способствующее возникновению турбулентности); *б* — трубка Вентури (удачное решение — турбулентность потока уменьшается); *в* — устройство с фигурными направляющими потока (удачное решение).

стали 1X18H9T в спокойной морской воде составляет 1,85 мм/год, а в движущейся со скоростью 1,2—1,5 м/с — всего лишь 0,05—0,10 мм/год.

При конструировании изделий необходимо стремиться к уменьшению локальных концентраций напряжений, вызванных движением жидко-

сти, для чего следует придавать поверхностям формы, способствующие снижению скорости, турбулентности потока и образованию газовых пузырьков (рис. 44).

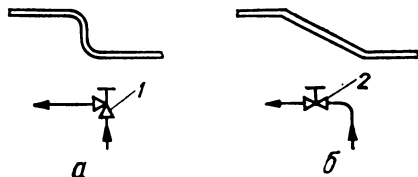


Рис. 46. Повороты трубопроводов:

*a* — неудачное решение; *б* — более удачное решение; 1 — угловой вентиль; 2 — задвижка.

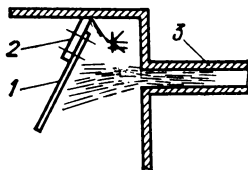


Рис. 47. Применение съемного козырька для защиты от ударного действия пара высокого давления: 1 — козырек; 2 — кронштейн крепления козырька; 3 — патрубок подвода пара.

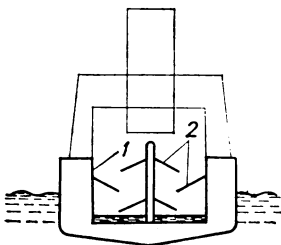


Рис. 48. Землечерпалка в разрезе:

1 — обшивка трюма; 2 — сменные пластинчатые отражатели.

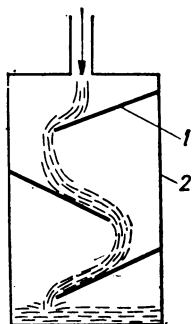
Следует избегать конфигураций деталей, которые способствуют возникновению пульсаций потока жидкости с большой частотой, интенсивного перемещения и ударного воздействия жидкости в системе.

Элементам внутренних поверхностей трубопроводов следует придавать обтекаемые формы,

Рис. 49. Резервуар с перегородками:  
1 — перегородка; 2 — оболочка резервуара.

оказывающие меньшее сопротивление потоку (рис. 45), а также избегать крутых поворотов трубопроводов (рис. 46).

Использование сменных козырьков, пластин, перегородок и других отражателей для защиты от ударного действия струи жидкости или пара способствует уменьшению коррозионного разрушения (рис. 47—49) [24].



#### **5. ПРИСПОСОБЛЕННОСТЬ КОНСТРУКЦИИ К РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МЕР ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ**

При разработке изделия машиностроения необходимо обеспечить возможность реализации технологических и эксплуатационных мер защиты от коррозии: нанесения и возобновления защитных покрытий, обеспечения удобства консервации и расконсервации в процессе хранения, выделения интенсивно корродирующих участков крупногабаритных деталей в самостоятельные и легкозаменяемые детали.

Конструктивная форма изделия или его отдельного элемента оказывает большое влияние на качество и долговечность защитных покрытий.

Качество и долговечность защитных покрытий в значительной степени зависят от равномерности их нанесения. Для получения однородной толщины покрытия необходимо избегать

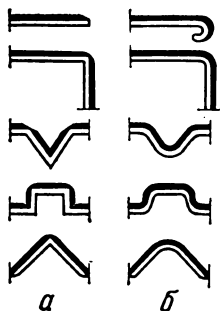


Рис. 50. Элементы конструкции с лакокрасочным покрытием:  
а — неудачные; б — удачные.

острых углов и углублений на поверхностях деталей. При нанесении лакокрасочных покрытий (рис. 50) на острых углах и углублениях деталей защитный слой получается тоньше, чем на плоской поверхности. При нанесении гальванических покрытий (рис. 51) на острых углах образуются наросты, а в углублениях — осадок малой толщины.

Поверхности деталей под гальванические покрытия должны соответствовать таким требованиям:

Характеристика поверхности	Основные требования
Плоские поверхности	Полирование производить с созданием выпуклости с подъемом 0,015 мм/мм радиуса
Острые края	Обеспечивать радиус скругления краев не менее 0,8 мм
Клиновидные канавки	Применять мелкие и скругленные канавки
Ребра жесткости	Применять широкие ребра с закругленными краями, скашивать каждое ребро к краям и скруглять края; по возможности увеличивать шаг ребер
Остроконечные выступы	Придавать выпуклость основанию и скруглять все углы
Фланцы	Для внутренних углов рекомендуется назначать большие радиусы и придавать конусность опорным поверхностям

При подготовке поверхности деталей под металлическое или неметаллическое защитное по-

крытие необходимо удалить все заметные выступы, заполнить пустоты, царапины и складки пластиком, пластмассово-металлическими наполнителями или же мягким металлом (оловом, свинцом и др.). Примеры приспособленности конструкции для металлизации и нанесения покрытий пластиками приведены на рис. 52 [24].

От формы и размеров деталей в значительной степени зависит выбор метода нанесения покрытия. Очень мелкие детали трудно, а иногда и невозможно закреплять на подвесках для нанесения гальванических покрытий. Такие детали погружают в расплавленный металл или используют метод конденсации в вакууме. Деталь с большими размерами может не поместиться в ванну. В таких случаях изделие нужно проектировать из нескольких составных частей, защитные покрытия на которые наносятся до сборки, или же применять методы металлизации.

Невозможность восстановления защитных покрытий может стать причиной аварий металлических конструкций. Например, из-за неудачной конструктивной формы элементов стальной несущей

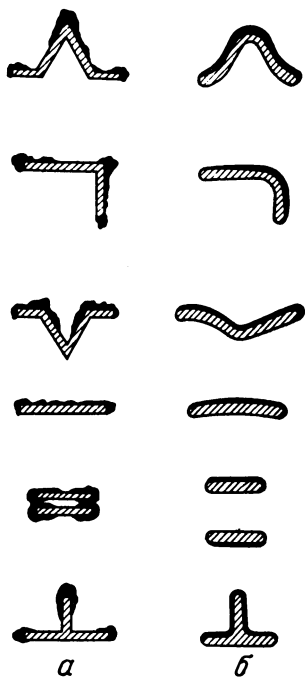


Рис. 51. Элементы конструкции с гальваническим покрытием:  
а — неудачные; б — удачные.



щей конструкции цеха произошла авария [5]. Сечения стержней ферм под воздействием агрессивных паров от травильных чанов значительно ослабели, а узкие промежутки между уголками не давали возможности производить очистку и

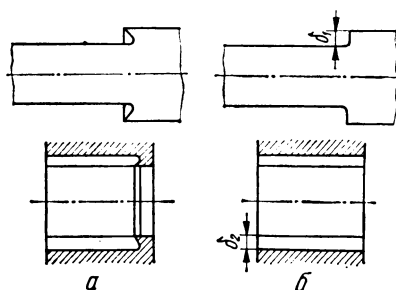


Рис. 52. Подготовка поверхности под металлизацию:

*a* — проточка с поднутрением; *б* — проточка без поднутрения;  $\delta_1$  — глубина проточки (определяется максимальным износом и надежностью);  $\delta_2$  — припуск под покрытие (50—500 мкм).

восстановление окраски на внутренних поверхностях уголков.

При разработке оборудования животноводческих ферм, внутрицеховых металлических конструкций, сельскохозяйственных машин, мелиоративной техники и других изделий машиностроения необходимо предусматривать доступ к поверхностям для очистки от продуктов коррозии и восстановления защитных покрытий.

Расстояние между профилями проката в металлических конструкциях должно быть  $q \geq \frac{h}{6}$ , где  $q$  — зазор (расстояние) между профилями проката;  $h$  — высота вертикальной полки.

При этом в случае коробчатого сечения соприкасающихся профилей зазор  $q$  должен быть не менее 80 мм, а при открытом сечении — не менее 50 мм [5].

При проектировании крупногабаритных изделий необходимо предусматривать специальные

тележки для осмотра и покраски конструктивных элементов изделия. Это дополнительное оборудование, входящее в комплект изделия, при минимальных затратах может дать значительный экономический эффект в эксплуатации.

Иногда не удается надежно защитить отдельные части деталей (особенно крупногабаритных) от коррозионного разрушения. В таких случаях целесообразно участки, наиболее подверженные коррозии, конструктивно выделять в отдельные, самостоятельные, легко заменяемые детали [19].

В зонах периодического смачивания и конденсации, а также у поверхности раздела фаз (ватерлиния) наблюдается очень сильное коррозионное разрушение. Усиленная коррозия металла в зоне ватерлинии объясняется работой микроэлементов, возникающих за счет изменения концентрации реагирующих веществ в щелевых зазорах мениска у поверхности раздела фаз. При конструировании следует предусматривать в зоне ватерлинии усиление пояса и возможность его замены.

## **ГЛАВА 2**

### **ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

#### **1. ВЫБОР МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

При выборе металлов и сплавов для изделий машиностроения учитывается их коррозионная стойкость в конкретных условиях эксплуатации, склонность к контактной и щелевой коррозии, технологические свойства; свариваемость,

штампуемость и т. д., а также экономическая эффективность.

Коррозионная стойкость металлов и сплавов в конкретных средах оценивается с учетом опыта, накопленного в различных отраслях машиностроения. При необходимости проводятся дополнительные коррозионные испытания.

Разнообразие сред и их сочетаний, с которыми могут контактировать металлические поверхности, усложняет задачу выбора конструкционного материала и ставит ее в ряд особо важных при разработке новой техники.

При выборе конструкционных материалов, защитных покрытий или конфигурации отдельных элементов изделия рекомендуется пользоваться морфологическим подходом — методом логической организации идей.

Так, при выборе материала для наружной крышки (кожуха) роторной газонокосилки конструктор предъявляет к нему следующие требования [41]: материал должен легко штамповаться (быть пластичным), иметь относительно высокую ударную вязкость и небольшую плотность; поверхность материала должна хорошо обрабатываться для защиты от коррозии (естественная защита или окраска); стоимость материала крышки должна быть значительно ниже стоимости материала, из которого изготавливаются работающие детали; крышка должна легко крепиться к раме, выдерживать вибрации и быть съемной. После этого конструктор приступает к построению матрицы решений (табл. 4).

Коэффициенты значимости задаются с учетом требований к изделию. Следует отметить, что эти коэффициенты для состава и плотности материала равны нулю, так как указанные свойства существенно не влияют на принятие реше-

#### 4. Матрица решений при выборе материала для крышки роторной газонокосилки

Материал	Свойства материала и коэффициент значимости				
	Механические свойства; 0,3	Способность к штамповке; 0,2	Чистовая обработка и нанесение покрыва; 0,2	Стоимость; 0,3	Сумма коэффициентов значимости; 1,0
Алюминий	1,00,30	0,90,18	0,90,18	0,50,18	0,81
Листовая сталь	1,00,30	0,80,16	0,70,14	0,80,24	0,84
Медный сплав	0,80,24	0,90,18	0,80,16	0,30,09	0,67
Реактопласт	0,90,09	1,00,20	1,00,20	1,00,30	0,79

ния в конкретной ситуации. Выбираются группы материалов, наилучшим образом удовлетворяющие требованиям к крышке газонокосилки. Каждому материалу дается определенное число баллов (от 0 до 1,0) в зависимости от значимости свойств, перечисленных в верхней части матрицы, которое записывается в верхней части клеток матрицы. Произведение числа баллов на коэффициенты значимости записывается в нижней части клеток. Затем вычисляется сумма очков для каждого материала. В рассматриваемом случае по сумме очков наилучшим материалом является листовая сталь. Далее после тщательного анализа свойств листовых сталей выбирается конкретная марка стали.

В табл. 5 приведена качественная характеристика коррозионной стойкости основных конструкционных материалов в средах химического производства, в табл. 6 — в некоторых пищевых средах [29]. Как следует из приведенных данных, для большинства сред можно выбрать достаточно стойкие материалы.

[illegible]

Соляная кислота	К	К	К	К	К	К	К	К	О	О	О	К	К	К	К	О	К
Фтористоводородная кислота	К	С	К	К	С	С	С	С	О	О	О	—	К	К	О	К	К
Перекись водорода	С	С	С	К	С	С	С	С	—	О	—	—	—	С	С	С	—
Сероводород сухой	С	С	С	С	С	С	С	С	К	К	—	К	С	С	С	С	С
Сероводород влажный	—	К	К	К	К	К	К	К	С	С	—	К	С	С	К	С	С
Хлорид магния	К	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	—	С	С	О	К	С
Сульфат магния	С	С	С	С	С	С	С	С	—	С	—	С	С	С	О	К	—
Метиловый спирт	С	С	С	С	С	С	С	С	К	С	—	—	С	С	С	С	С
Азотная кислота	О	К	К	К	К	К	К	К	О	О	О	К	С	С	К	С	К
Фосфорная кислота	К	С	С	С	С	С	С	О	К	С	С	С	О	К	О	С	К
Углекислый калий	К	С	С	С	С	С	С	С	—	С	—	—	С	С	О	—	К
Едкое кали	К	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	О	С	К
Хлористый натрий	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	О	С	К
Едкий натр	К	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	О	С	К
Нитрат натрия	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	—	С	С	О	О	С
Двуокись серы сухая	С	С	С	С	С	С	С	С	—	—	—	—	С	С	О	С	К
Двуокись серы влажная	К	С	С	С	С	С	С	С	—	—	—	С	С	С	О	К	К
Серная кислота	О	С	С	С	О	С	С	С	О	К	С	С	С	С	О	К	К
Хлористый цинк	К	К	С	С	К	С	С	С	—	—	—	—	С	С	С	С	К
Сернокислый цинк	К	С	С	С	С	С	С	С	—	—	—	—	С	С	О	К	—

\* Условные обозначения: К — корродирующие; О — ограничительное применение; С — стойкие; М — слабая коррозия; «—» — отсутствие данных.

В машиностроении используются в основном конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества и качественные углеродистые стали, содержащие до 1 % марганца.

#### 6. Коррозионная стойкость основных конструкционных материалов в пищевых средах

Среда	Материал					
	Медь	Никель	Никель — медь	Нержавеющая сталь (18—8)	Олово	Цинк
Сок:						
яблочный	К *	С	С	С	С	К
виноградный	К	М	С	С	С	К
грейпфрутовый	К	С	С	С	С	К
лимонный	К	М	М	С	С	К
апельсиновый	М	С	С	С	С	К
томатный	К	М	М	С	С	К
Молоко	С	М	—	С	С	К

\* Условные обозначения те же, что и в табл. 5.

Коррозионная стойкость углеродистых сталей снижается главным образом наличием примесей серы, которая вызывает межкристаллитную коррозию, образуя с железом и марганцем сульфиды, которые концентрируются по границам зерен. Примеси серы в небольших количествах межкристаллитную коррозию углеродистых сталей не вызывают.

Коррозионностойкие стали легируются металлами с более высоким, по сравнению с железом, потенциалом, а также легкопассивирующимися металлами.

Основным легирующим элементом железоуглеродистых сталей является хром, обладаю-

щий способностью пассивироваться. Вторым по значимости легирующим элементом является никель, который повышает коррозионную стойкость сталей, улучшает их механическую прочность, пластичность, а также способность к сварке.

Среди нержавеющей сталей в наибольшей степени подвержены щелевой коррозии хромистые стали. Более устойчивы к этому виду коррозии хромоникелевые стали, однако и они подвергаются интенсивным разрушениям в щелях, если коррозионная среда содержит активаторы, например хлор-ионы. Области применения основных коррозионностойких сталей, выпускаемых в СССР, следующие [36, 39]:

*высокопрочные, коррозионностойкие стали  
мартенситного, мартенсито-ферритного и  
аустенито-мартенситного класса*

08X13; 12X13; 20X13 — для изготовления деталей, подвергающихся воздействию слабоагрессивных сред (атмосферных условий, кроме морских, водных растворов солей органических кислот при комнатной температуре, растворов азотной кислоты слабой концентрации, продуктов жизнедеятельности животных, дезрастворов и т. д.). Стали применяются в тех случаях, когда детали должны обладать определенным запасом пластичности и ударной вязкости. Сталь 08X13 используется как жаростойкий материал при температурах до 800 °С, а 20X13 — при температурах 450—550 °С. Сталь 08X13 обладает высокой коррозионной стойкостью во многих пищевых продуктах: фруктово-ягодных смесях, сахарном сиропе, патоке, пищевом масле и др. Стали удовлетворительно свариваются различными видами сварки, деформируются в холодном и горячем состоянии;



30X13; 40X13 — для изготовления тяжело нагруженных деталей, пар трения, торцовых уплотнений химических аппаратов и поршневых компрессоров, работающих в слабоагрессивных средах (водных растворах солей, азотной и некоторых органических кислотах невысоких концентраций) при температуре до 30 °С. Применяются для изготовления режущего, мерительного и хирургического инструментов, пружин, подшипников. Стали достаточно стойкие в условиях воздействия пресной воды, пара, бензина, атмосферы. Холодная пластическая деформация сталей ограничена;

20X17H2Б—Ш(ВД); 14X17H2; 95X18 — для изготовления тяжело нагруженных деталей (ножей, фильтров и валов шнековых машин, втулок подшипников, колец торцовых уплотнений, валов и мешалок оборудования с перемешивающими устройствами и др.), подвергающихся сильному износу и действию умеренно агрессивных сред: азотной и органической кислот (за исключением уксусной, муравьиной, молочной, щавелевой), большинства растворов солей органических и неорганических кислот при различных концентрациях и температурах. Сталь 20X17H2Б—Ш(ВД) рекомендуется взамен сталей марок 30X13, 40X13, 95X18 как обладающая более высокой пластичностью, коррозионной стойкостью и способностью свариваться, а также сталей марок 20X17H2 и 07X16H6 как равноценная по коррозионной стойкости, но с более высокими прочностными характеристиками. Сталь 95X18 рекомендуется для ножей, подшипников, колец торцовых уплотнений и других деталей, подвергающихся износу; сталь не сваривается;

*высокопрочные коррозионностойкие стали  
аустенито-мартенситного класса*

09X15H8Ю; 07X16H6; 08X17H5M3 — для изготовления высоконагруженных деталей (дисков распыливающих сушилок, уплотняющих колец сепараторов, роторов и валов центрифуг, пластин прямоточных клапанов в компрессорах, режущих устройств шнековых машин и т. д.), работающих в растворах азотной, фосфорной, уксусной кислот, солей, в атмосферных условиях, сернокислых средах (08X17H5M3). Сталь 07H16H6 используется как жаростойкий материал при температурах до 400 °С, а сталь 08X17H5M3 — при температурах до 550 °С. Стали хорошо свариваются, деформируются в горячем состоянии;

06X16H7M2Ю — для изготовления дисков распыливающих сушилок при сушке двойного суперфосфата, клапанных пластин в компрессорах конвертированного газа, плунжеров и пружин карбонатных насосов. Рекомендуются для сварных конструкций;

03X14H7B — для валов погруженных центробежных насосов, работающих в нефтяных скважинах;

*стали аустенитного класса*

10X14Г14Н4Т; 10X14АГ15 — для изготовления деталей оборудования, работающего в средах слабой агрессивности (органических кислотах невысоких концентраций и умеренных температур), а также оборудования по производству кормовых дрожжей; для кислородных компрессоров, установок газоразделения, работающих при температурах до 196 °С, а также как жаропрочные, применяющиеся при температуре до 700 °С. Сталь 10X14АГ15 используется для изготовления деталей торгового оборудования, приборов бытового назначения (кроме режущих элементов, холодильников, стиральных машин),

**а** также деталей оборудования пищевой и мясомолочной промышленности. Стали обладают хорошей свариваемостью, хорошо деформируются в холодном и горячем состоянии;

12X18H10T; 12X18H9T; 08X18H10T — для сварных конструкций, работающих в средах средней агрессивности (продуктах сгорания топлива, разбавленных растворах азотной, фосфорной, органических кислот, за исключением муравьиной, щавелевой, молочной, продуктов жизнедеятельности животных, дезрастворах, растворах щелочей и солей, органических и неорганических кислот при различных температурах и концентрациях, органических растворителях, атмосферных условиях и т. д.). Для повышения износостойкости пар трения рекомендуется применение упрочняющей технологии (азотирование, поверхностный наклеп). Стали используются в качестве жаростойкого и жаропрочного материала. Хорошо свариваются всеми видами ручной и автоматической сварки, обладают технологичностью при горячей и холодной пластической деформации;

10X17H13M2T; 10X17H13M3T — для изготовления сварных конструкций, работающих в условиях действия кипящей фосфорной, муравьиной, уксусной кислот и других сред повышенной активности. Для повышения износостойкости пар трения рекомендуется применение упрочняющей технологии (азотирование, поверхностный наклеп);

*стали аустенито-ферритного класса*

08X22H6T; 06X22H5Б — для изготовления сварной химической аппаратуры (реакторов, теплообменников, емкостей испарителей, аппаратуры, трубопроводов), в том числе для приготовления катализаторов, полимеризации, сушки

в производстве полиолефинов, синтетических каучуков, кормовых дрожжей и вакцин, а также сварной аппаратуры, работающей в среде кипящей 65 %-ной азотной кислоты, при выпарке и нейтрализации аммиачной селитры в производстве азотной кислоты. в производствах калийной селитры, мочевины, красителей, капролактама, фосфорной (до 65 %-ной концентрации при температуре до 185 °С) и уксусной (60 %-ной концентрации до температуры кипения, 80 %-ной — до 40 °С) кислот. Используются как заменители сталей типа X18H10T и X18H9T в умеренно агрессивных средах. Сварная аппаратура из стали 08X22H6T эксплуатируется при температурах от —40 до +300 °С; стали 06X22H5Б и 03X23H6 — при температурах от —70 до +350 °С. Стали обладают хорошей свариваемостью всеми видами сварки, технологичны при обработке давлением в холодном и горячем состоянии;

08X18Г8H2T — для изготовления химической аппаратуры, работающей преимущественно в окислительных средах (емкостей реакторов, трубопроводов и т. д.). Используется как заменитель сталей X18H10T и X18H9T. Обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в 60 %-ной азотной кислоте при температуре до 80 °С, 25 %-ной фосфорной, 32 %-ной уксусной, 10 %-ной щавелевой кислотах. Рекомендуемый температурный интервал использования — от —50 до +300 °С. Сталь хорошо сваривается ручной и автоматической сваркой, подвергается гибке и штамповке в холодном и горячем состоянии;

12X21H5T — для изготовления деталей вакуум-выпарных аппаратов и сушильно-распылительных установок, валов с мешалками, оборудования с перемешивающими устройствами и сварных конструкций, работающих в умеренно

агрессивных средах, не вызывающих межкристаллитную коррозию. Рекомендуется в качестве заменителя стали X18H9T в средах производства молочных продуктов, вина, кормовых дрожжей и вакцин. Рекомендуемый температурный интервал использования — от  $-40$  до  $+300^{\circ}\text{C}$ ;

O8X21H6M2T — для изготовления емкостей, реакторов, теплообменников, арматуры, трубопроводов и т. д., работающих в окислительно-восстановительных средах. Рекомендуется в качестве заменителя сталей 10X17H13M2T и 10X17H13M2T в производствах серной кислоты ( $92\% \text{H}_2\text{O}_4 + 7\% \text{O}_2$  при  $40-60^{\circ}\text{C}$ ),  $15\%$ -ной лимонной кислоты при  $60^{\circ}\text{C}$ , термической фосфорной кислоты ( $80\% - \text{H}_3\text{PO}_4$  при  $100^{\circ}\text{C}$ ), сульфитной и сульфатной целлюлозы (фильтрующая аппаратура), синтетического каучука (отжимные и сушильные машины), меланина, синтетической морской воды, хлористого аммония методом выпаривания и других. Для сред повышенной агрессивности, содержащих муравьиную, уксусную, щавелевую кислоты (не выше  $5\%$ -ной концентрации), а также для фосфорной кислоты (до  $32\%$ )  $\text{P}_2\text{O}_5$ , содержащей фтористые соединения, борной кислоты с примесью серной кислоты (до  $1\%$ ) и  $10\%$ -ной кремнефтористоводородной кислоты при температуре до  $40^{\circ}\text{C}$ . Сварное оборудование рекомендуется эксплуатировать при температурах от  $-4$  до  $+300^{\circ}\text{C}$ . Сталь хорошо сваривается всеми видами ручной и автоматической сварки, подвергается гибке и штамповке в холодном и горячем состояниях;

O3X21H6M2T — для изготовления деталей сварной химической аппаратуры взамен стали 10X17H13M2T в производстве мочевины, уксусной кислоты, капролактама, а также в условиях действия кипящей фосфорной, серной,  $10\%$ -ной

уксусной кислот, сернокислых сред и т. п. Рекомендуемый температурный интервал использования — от  $-40$  до  $+300^{\circ}\text{C}$ . Сталь хорошо сваривается, обладает хорошей технологичностью при холодной и горячей пластической деформации;

10X32H8; 10X32H8—Ш(ВД) — для тяжело нагруженных деталей, подвергающихся сильному износу в средах умеренной агрессивности. Коррозионная стойкость данной стали такая же, как стали X18H9T. Рекомендуется также в качестве износостойких наплавов;

*сплавы на железоникелевой основе*

06H28МДТ — для изготовления деталей сварной аппаратуры, в том числе реакторов; теплообменников, трубопроводов, емкостей, работающих в растворах, содержащих ионы хлора, серной и фосфорной кислот при температуре до  $80^{\circ}\text{C}$ . Сплав сваривается ручной и автоматической сваркой в защитном газе и с применением флюса;

03ХН28МДТ — для изготовления деталей сварной аппаратуры, применяемой в производстве минеральных удобрений, серной кислоты всех концентраций, в среде экстракционной фосфорной кислоты (32 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) с примесями фтора при температуре до  $60^{\circ}\text{C}$  и в других производствах для сред повышенной агрессивности. Сплав хорошо сваривается электродуговой и аргонодуговой ручной и автоматической сваркой;

04ХН40МДТЮ — для изготовления тяжело нагруженных деталей (сепараторов, центрифуг, сушилок) и другой химической аппаратуры, подвергающейся одновременному воздействию износа и агрессивных сред (растворов серной кислоты с концентрацией до 60 % при температуре до  $80^{\circ}\text{C}$ , растворов фосфорной кислоты с концент-

рацией до 70 % при температуре до 80 °С, 10 %-ной кислоты фтористоводородной при 70 °С, 110—115 %-ной полифтористой кислоты при 120—135 °С, сернистого газа при температуре до 400 °С, обессоленной, деаэрированной воды при 330 °С и давлении 15 МПа (150 кгс/см<sup>2</sup>). Рекомендуются к применению в следующих производствах: полиэтилена низкого давления (ионов хлора до 150 мг/л, рН до 2, температура до 90 °С), двойного суперфосфата, капролактама, а также для оборудования коксохимических (отделение хлората натрия от твердых частиц графита) и металлургических заводов (купоросные установки, работающие в водных растворах 20 %-ной серной кислоты и 15 %-ного железного купороса при температуре до 40 °С). Сплав имеет удовлетворительную технологичность при горячей и холодной пластической деформации и обработке резанием. Сварное соединение без горячих трещин может быть получено при толщине сварных элементов до 6 мм;

*сплавы на никелевой основе*

ХН70МФ — для изготовления изделий, работающих при высоких температурах в серной (всех концентраций при температуре до 100 °С), фосфорной, органических кислотах, а главное, в соляной кислоте всех концентраций и при всех температурах, включая температуру кипения. Сваривается ручной аргонодуговой и электродуговой сваркой;

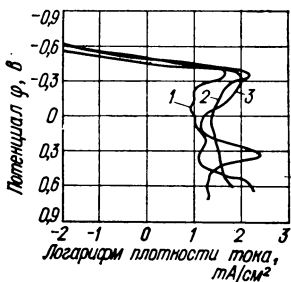
ХН65МВ — для изготовления сварных конструкций (ректификационные колонны, пленочные испарители, разлагатели и др.), работающих при повышенных температурах в сернокислых средах, обладающих окислительным характером, в концентрированной уксусной кислоте, сухом хлоре, хлоридах железа и других высоко-

агрессивных средах. Сваривается аргонодуговой и электродуговой сваркой. Подвергается пластической деформации при 1200—950 °С;

ХН60МБ — для изготовления изделий, работающих в контакте с растворами кремнефтористоводородной кислоты при 80 °С, азотной и фос-

Рис. 53. Анодные поляризационные кривые алюминиевых сплавов и малоуглеродистой стали в водном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :

1 — сталь СтЗкп; 2 — алюминий АК-5М2, легированный титаном (до 6 %); 3 — алюминий АМц.



форной кислот, в производстве минеральных удобрений. Сварку сплава при толщине деталей 4—10 мм проводят ручным электродуговым способом электродами марки ОЗЛ—21. Подвергается пластической деформации при температурах 1200—900 °С.

После сталей к числу наиболее распространенных материалов можно отнести алюминий и его сплавы. Алюминий обладает способностью к самопассивации в окислительных средах. Он стоек в воде и водных растворах солей, во влажных газах при рН растворов от 4 до 9, в концентрированных серной и азотной кислотах, во многих органических кислотах. Однако алюминий разрушается в средах, не обладающих окислительными свойствами. Легирование алюминия титаном повышает его способность к пассивации (рис. 53).

Коррозионные свойства алюминия и его сплавов в щелях и зазорах имеют свои особенности. Сплавы, которые в объеме электролита находятся в пассивном состоянии, могут потерять пас-



сивное состояние в зазоре, в результате чего увеличится скорость коррозии. Зависимость скорости коррозии алюминия и некоторых алюминиевых сплавов от ширины зазора приведена на рис. 54 [29].

Медь и ее сплавы имеют слабо выраженную способность к пассивированию, в связи с чем они

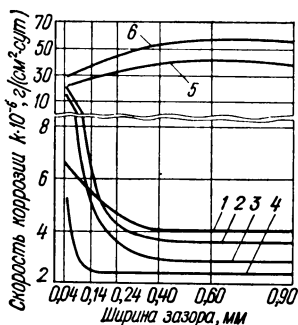


Рис. 54. Зависимость скорости коррозии алюминия и его сплавов от ширины зазора в 0,5—Н в водном растворе NaCl:

1 — алюминий; 2 — Д16 плакированный; 3 — АМц; 4 — АМг; 5 — В95 неплакированный; 6 — Д16 неплакированный.

не стойки в сильных окислительных средах (азотной, концентрированной серной кислотах, кислых растворах солей хромовой кислоты).

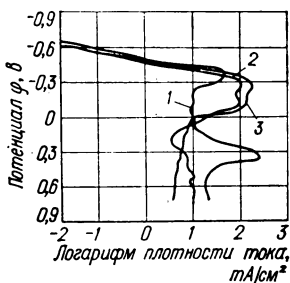
Более высокими коррозионными свойствами обладают сплавы меди: бронзы, латуни, сплавы с никелем, мельхиор, никелин и др.). Скорость коррозии меди и оловянистой бронзы в зазорах почти на два порядка ниже, чем на поверхности со свободным доступом электролита, латунь корродирует в зазорах сильнее, чем в объеме электролита.

К новым коррозионностойким материалам относятся титан и его сплавы. Титан легко пассивируется, образуя очень прочную, сплошную, хорошо сцепляющуюся с основным металлом пленку окиси титана, которая способствует возрастанию потенциала титана до положительного значения. В нашей стране выпускаются коррозионностойкий технически чистый титан ВТ1, а так-

же сплавы титана с алюминием и добавками других легирующих элементов.

Сварку титана рекомендуется проводить в защитной атмосфере (например, в среде аргона), так как с повышением температуры он легко на-

Рис. 55. Анодные поляризационные кривые металлоуглеродистой и низколегированных сталей в водном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ : 1 — СтЗкп; 2 — 10ХНДП; 3 — 10ХНДП, легированная титаном.



сыщается газами и становится хрупким.

В нейтральных электролитах титан и его сплавы не подвергаются щелевой коррозии. В кислых средах (например, в серной кислоте) наблюдается щелевая коррозия этого материала.

Установлено, что титан в качестве легирующего элемента повышает склонность к пассивации низколегированных сталей (рис. 55).

В настоящее время очень трудно создать изделие, все детали которого были бы изготовлены из одного материала. А контактирование деталей из разнородных металлов или их соединение электропроводящими путями (металлическим проводом, электролитом, водой, конденсатом) приводит к разрушению одной из деталей в результате контактной коррозии. Поэтому при конструировании необходимо учитывать следующие количественные показатели скорости коррозии анода применительно к типичным атмосферам и парам: 0—50 г/( $\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ) — абсолютно допустимые контакты; 50—150 г/( $\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ) — условно допустимые; выше 150 г/( $\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ) — недопустимые. При условно допустимых контактах необхо-

димо обеспечить периодическую смазку, возобновление лакокрасочных покрытий, периодическую очистку контактов от продуктов коррозии.

При затруднениях в определении скорости коррозии рекомендуется пользоваться распределением металлов по группам, в пределах которых контакт может считаться допустимым. Для атмосферных условий эксплуатации можно выделить пять таких групп: I — магний; II — алюминий, цинк, кадмий; III — железо, углеродистые стали, свинец, олово; IV — никель, хром, коррозионностойкие стали (в пассивном состоянии) типа X17 и 18—8; V — медно-никелевые и медно-цинковые сплавы, медь, серебро, золото.

Ряд металлов в порядке возрастания электродного потенциала в морской воде можно представить следующим образом: магний, цинк, алюминий, железо, углеродистая сталь, хастеллой С, хастеллой В, латунь, медь, бронза, коррозионностойкие стали (в пассивном состоянии) типа 18—8 и 17—33, серебро, золото [29].

Материал, имеющий больший электродный потенциал, усиливает коррозию контактирующего с ним материала с меньшим потенциалом. Чем дальше расположены друг от друга материалы в ряду, тем сильнее коррозия при их контакте.

Стандартные электродные потенциалы металлов приведены в табл. 7.

В качестве примера рационального выбора конструкционного материала можно привести емкость агрегата для внесения химконсервантов в корма растительного происхождения для животных [18]. Срок службы агрегата должен быть не менее 6 лет при контакте с водными растворами муравьиной кислоты. В зависимости от конкретных условий концентрация кислоты может из-

## 7. Ряд напряжений металлов

Металл	Стандартный электродный потенциал, В	Металл	Стандартный электродный потенциал, В
Магний	—2,370	Никель	—0,250
Бериллий	—1,850	Молибден	—0,200
Алюминий	—1,660	Олово	—0,136
Марганец	—1,180	Свинец	—0,126
Цинк	—0,760	Медь	+0,337
Хром	—0,740	Серебро	+0,800
Железо	—0,430	Платина	+1,190
Кадмий	—0,400	Золото	+1,500
Кобальт	—0,270		

меняться от 10 до 50 %. Условия работы следующие: агрегат используется для консервирования сочных кормов (измельченной стебельчатой массы кукурузы, подсолнечника и других растений) на протяжении 180—200 ч в год (остальное время емкость не имеет контакта с кислотой); агрегат перемещается по полю, имеющему неровности, следовательно, имеет место периодическое смачивание стенок емкости муравьиной кислотой, нижняя часть емкости имеет постоянный контакт с кислотой.

Чтобы правильно, экономически обоснованно выбрать конструкционный материал для изготовления емкости агрегата с учетом срока его службы, проведены дополнительные исследования коррозионной стойкости некоторых сталей. В результате исследований установлено, что коррозия углеродистой стали СтЗкп в растворе муравьиной кислоты имеет тот же порядок, что и в водопроводной и дистиллированной воде. Кроме того, этот материал корродирует в 5—10 раз медленнее, чем низколегированная и диффузионнохромированная стали (рис. 56). Следовательно, сталь СтЗкп можно использовать при

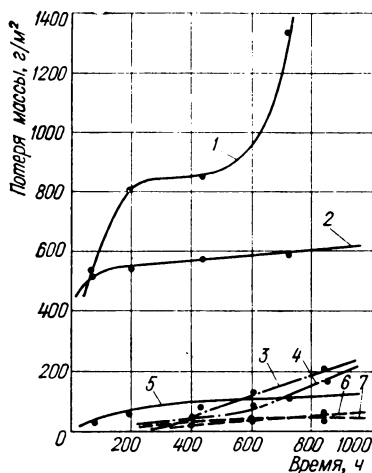


Рис. 56. Зависимость коррозии металлов от продолжительности испытания в 25 %-ном растворе муравьиной кислоты (сплошные линии), водопроводной (штрих-пунктирные) и дистиллированной (штриховые) воде при постоянном погружении образцов в раствор:

1 — диффузионнохромированная сталь; 2 — сталь IOXNDП; 3—7 — сталь СтЗкп.

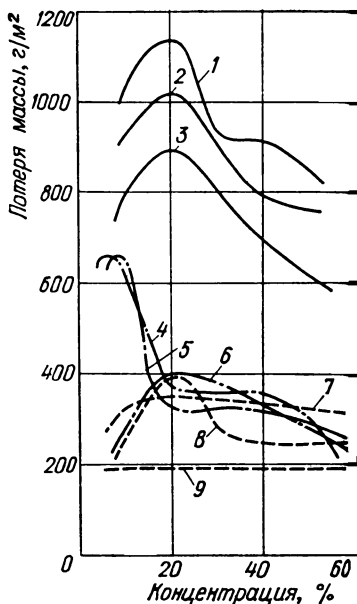


Рис. 57. Зависимость коррозии диффузионнохромированной стали (сплошные линии), стали IOXNDП (штрих-пунктирные) и стали СтЗкп (штриховые) от концентрации муравьиной кислоты и времени испытаний: 1, 4, 7 — 504 ч; 2, 5, 8 — 360 ч; 3, 6, 9 — 192 ч.

изготовлении емкости агрегата для внесения химконсерванта. Этот вывод подтверждается также тем, что при времени испытания материалов, близком к времени сезонной работы агрегата, коррозия стали СтЗкп практически не зависит

от концентрации раствора муравьиной кислоты (рис. 57).

Установлено, что с увеличением концентрации водного раствора муравьиной кислоты скорость коррозии диффузионнохромированной стали и стали 10ХНДП уменьшается. Скорость коррозии малоуглеродистой стали СтЗкп при времени испытания до 192 ч не зависит от концентрации кислоты (рис. 57) и значительно ниже, чем других материалов.

В связи с тем что скорость коррозии малоуглеродистой стали СтЗкп при испытаниях в растворе муравьиной кислоты имеет тот же порядок, что и при испытании в водопроводной воде, и не зависит от концентрации муравьиной кислоты, при конструировании агрегатов для внесения химконсервантов можно использовать сталь СтЗкп. Этот материал при толщине стенки емкости 3—4 мм обеспечит долговечность изделия не менее 6 лет.

Выбор материала для конкретных изделий машиностроения зависит от конкретных условий эксплуатации.

При выборе материала конструктор должен исходить из того, что во многих случаях окончательный вывод о правильности выбора можно сделать только после испытания материала в условиях эксплуатации. Поэтому заключительный этап создания конструкции изделия — его испытания — должен быть проведен с особой тщательностью и в полном объеме.

## **2. ВЫБОР МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

При конструировании изделия конструктору необходимо знать и учитывать коррозионную стойкость защитных покрытий при воздействии конкретной среды и возможности той или

иной технологии их нанесения, оптимальные размеры и конфигурацию детали, качественное покрытие которой может обеспечить конкретная технология, возможную толщину и свойства покрытий. Немаловажное значение имеют перспективы развития предприятия и отрасли, где планируется осваивать производство создаваемого изделия. Кроме того, при выборе металлического покрытия необходимо учитывать его стоимость, а также твердость и декоративные свойства.

На стоимость защитного покрытия значительное влияние оказывает технология его нанесения. На погружение детали в расплав металла требуется меньше затрат, чем на электроосаждение, которое, в свою очередь, требует меньше затрат, чем распыление и плакирование. Металлы, применяемые для покрытий, по стоимости можно условно разбить на три группы: группа самой низкой стоимости — цинк, железо и свинец, промежуточная — никель, олово, кадмий и алюминий, группа дорогостоящих металлов — серебро, палладий, золото и родий [15].

Твердость покрытий имеет большое значение в случаях, когда поверхности деталей подвержены износу. Наиболее твердыми являются покрытия хромовые и никелевые, наименее твердыми — медные, цинковые, серебряные, относительно мягкими — оловянные, свинцовые, золотые, индиевые.

При выборе защитного покрытия конструктору необходимо учитывать и его декоративные качества: цвет, яркость, внешний вид. При существующей технологии можно получить различные цвета: от светло-голубого хромового до желтого латунного или золотистого и красного бронзового покрытия. Хороший блеск дают покрытия медью, цинком, кадмием, никелем, серебром, зо-

лотом. Алюминий, свинец и олово образуют тусклые покрытия. Однако, используя валковое плакирование, можно получить зеркальные алюминиевые покрытия.

Для деталей, работающих при высокой температуре, предпочтительно использовать покрытия алюминием, никелем, хромом.

Выбор вида покрытий в зависимости от основного металла и условий эксплуатации производится в соответствии с ГОСТ 14623—69 и ГОСТ 21484—76.

Металлические покрытия наносятся в основном на углеродистую сталь. В связи с этим материалы, используемые в качестве покрытий, можно разбить относительно стали на две группы: анодные (с более отрицательным потенциалом) — хром, цинк, алюминий, марганец и катодные (с более положительным потенциалом) — платина, золото, серебро, медь, олово, никель, кадмий.

Анодные покрытия оказывают протекторную защиту стали. Под влиянием агрессивной среды они разрушаются, и их защитная функция теряется. Защитная функция катодных покрытий заключается в том, что они механически преграждают доступ агрессивной среды к поверхности основного металла. На рис. 58 показано коррозионное разрушение при использовании анодных и катодных защитных покрытий, имеющих поры.

При выборе методов защиты от коррозии конкретного изделия машиностроения конструктору необходимо учитывать свойства металлических покрытий.

**Цинковые покрытия.** Около 40 % мировой продукции цинка используется для нанесения защитных покрытий [15]. Цинк наносится на поверхности стальных деталей погружением в го-



рячий расплав (горячее цинкование), методами напыления, гальваническим, вакуумным осаждением, а также методом покрытия наполненными цинком красками. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, которые должны

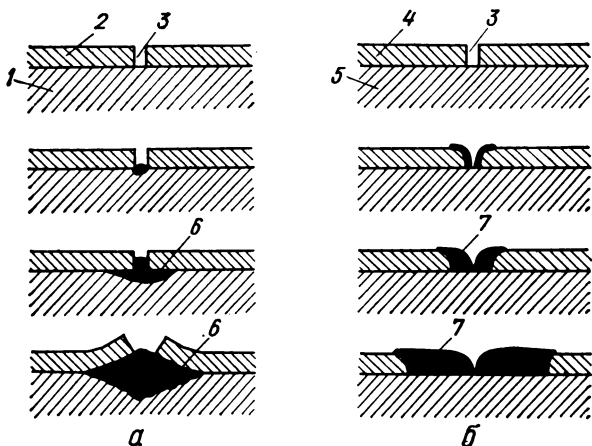


Рис. 58. Коррозионное разрушение при использовании катодных (а) и анодных (б) защитных покрытий:

1, 5 — основной металл; 2 — катодное покрытие; 3 — пора; 4 — анодное покрытие; 6 — продукты коррозии основного металла; 7 — продукты коррозии анодного покрытия.

учитываться в конкретных условиях использования.

Защитные свойства цинкового покрытия зависят от его толщины и агрессивности окружающей среды. Наиболее толстые цинковые покрытия могут быть получены методами горячего цинкования (20—125 мкм) и напыления (100—250 мкм). При использовании гальванического метода нанесения цинковых покрытий толщину можно изменять в пределах от 2 до 25 мкм. Тол-

щина диффузионных покрытий обычно составляет 12—40 мкм.

Толщина покрытия при горячем цинковании зависит от продолжительности цинкования и химического состава стали, на которую оно наносится (рис. 59) [7]. Применение горячего цинкования ограничивается размерами ванны, в которой производят цинкование. Однако, используя двукратное погружение, можно цинковать и длинные детали (рис. 60). Все поверхности деталей должны быть доступны для расплава цинка (рис. 61).

Применение метода напыления цинка не зависит от размеров и формы деталей, однако оно может быть ограничено затрудненным доступом к отдельным местам детали, например к внутренней поверхности труб. Гальванический метод обычно используется для нанесения покрытий на простые и небольшие детали. Наиболее часто он применяется для нанесения покрытия в барабанах или для непрерывного покрытия листов и проволоки. Диффузионный метод чаще всего используется для нанесения цинкового покрытия на небольшие, сложной формы детали. Покрытия этим методом обладают повышенной твердостью.

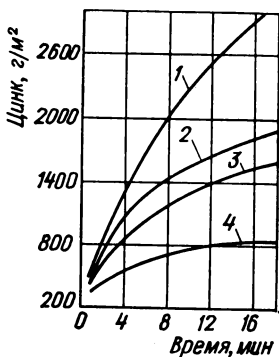


Рис. 59. Зависимость количества цинка в покрытии от продолжительности цинкования (температура ванны 462 °С) деталей из стали, содержащей соответственно углерода, окиси кремния, марганца, %:  
 1 — 0,18; 32; 1,32; 2 — 0,17; 0,25; 0,65; 3 — 0,10; 0,24; 0,43; 4 — 0,13; следы; 0,40.

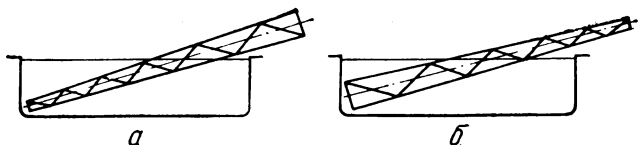


Рис. 60. Горячее цинкование длинных изделий путем двухразового (а,б) погружения в ванну.

Скорость коррозии цинковых покрытий, нанесенных в расплавленном виде, электроосаждением или металлизацией, одинакова [13].

Цинковые покрытия достаточно коррозионностойки при использовании в чистой атмосфере. Однако наличие примесей сернистого газа и сероводорода, характерных для атмосферы промышленных центров, снижает их коррозионную стойкость. Микроклимат животноводческих помещений также содержит примеси сернистого газа и сероводорода, чем частично объясняется более низкая стойкость цинковых покрытий оборудования животноводческих ферм по сравнению с покрытиями, работающими в условиях сельской атмосферы.

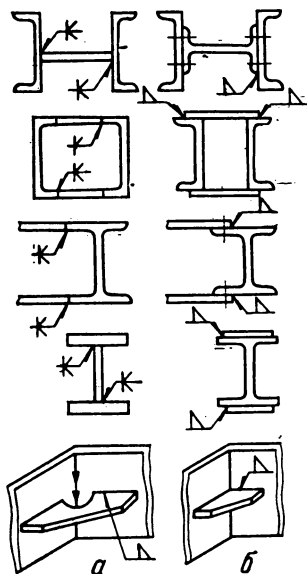


Рис. 61. Примеры правильно (а) и неправильно (б) сконструированных деталей, которые должны подвергаться горячему цинкованию.

Цинковые покрытия хорошо защищают стальные изделия от коррозионного действия бензина и водопроводной воды. Не рекомендуется применять цинковые покрытия в случае контакта деталей с морской водой, органическими и неорганическими кислотами и сильными щелочами.

Коррозионная стойкость покрытий увеличивается в случае гальванического осаждения на поверхность детали сплава цинк—никель даже с незначительным содержанием никеля (9—12 %).

При назначении толщины цинковых покрытий на поверхности деталей, используемых в атмосферных условиях, необходимо учитывать возрастающее загрязнение атмосферы. Практика свидетельствует о снижении стойкости цинковых покрытий на стальных конструкциях мачт линий электропередачи [7]. Несколько десятилетий назад такие конструкции надежно защищались цинковым покрытием толщиной 35 мкм и служили не менее 50 лет. В настоящее время цинковое покрытие такой толщины разрушается менее чем за 10 лет.

Скорость коррозии цинкового покрытия в атмосфере промышленных объектов составляет около 15 мкм/год, в сельской местности — 3 мкм/год.

Коррозионную стойкость цинковых покрытий можно повысить путем пассивации поверхности с помощью хромата.

На рис. 62 показаны некоторые детали и сборочные единицы легкового автомобиля, которые возможно изготавливать из оцинкованного стального листа.

**Алюминиевые покрытия.** Этот вид покрытий наносят на поверхности деталей методами погружения в горячий расплав, металлизации или

плакировки, а также путем вакуумного осаждения. Оптимальная толщина покрытий, полученных методом напыления с помощью порошкового или проволочного металлизатора, не превышает 0,2 мм. При толщине покрытий более 0,3 мм может происходить его отслаивание.

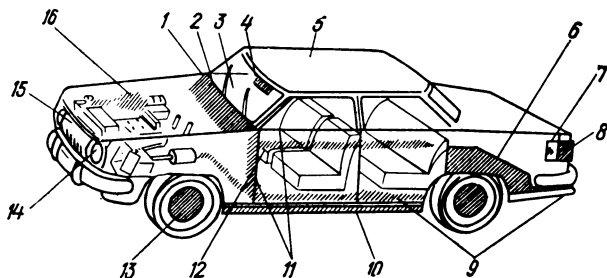


Рис. 62. Возможности применения оцинкованного стального листа для узлов легкового автомобиля:

1 — передняя панель; 2 — щиток приборов; 3 — поводки стеклоочистителя; 4 — корпус зеркала заднего вида; 5 — крыша; 6 — топливный бак; 7 — крышка бака; 8 — клапан крышки бака; 9 — выхлопное устройство; 10 — дверной порог; 11 — уплотнители дверей и окон; 12 — внутренние декоративные накладки на двери; 13 — колпак колеса; 14 — корпус дополнительной фары; 15 — облицовочная решетка радиатора; 16 — корпус масляного бака и воздушного фильтра.

Толщина алюминиевых покрытий, полученных методом погружения в горячий расплав, — 0,025—0,075 мм.

Нанесение алюминиевых покрытий в вакууме может осуществляться на металлические и неметаллические детали сложной формы, оптимальная толщина покрытия — 0,025 мм.

Алюминиевые покрытия имеют хорошую коррозионную стойкость в загрязненной промышленной атмосфере. Скорость коррозии в этих условиях составляет 2—5 мкм/год (в среднем за шестилетний период). При этом скорость коррозии

на шестом году эксплуатации в 4 раза ниже, чем в первом. Для сравнения следует отметить, что скорость коррозии малоуглеродистой стали равномерна в течение всего срока эксплуатации изделия. Особенно высокое сопротивление коррозии алюминиевые покрытия имеют в средах, загрязненных соединениями серы.

Алюминиевые покрытия используются для защиты от коррозии деталей в условиях высоких температур (например, дымовые трубы) даже при наличии кислотных продуктов сгорания. Эти покрытия хорошо защищают детали в чистой мягкой воде, почве, кислых средах. В щелочных средах и в морской воде использование алюминиевых покрытий не допускается.

В сильнощелочных средах алюминиевые покрытия по коррозионной стойкости уступают цинковым.

Алюминиевые напыленные покрытия стальных деталей обеспечивают их повышенную коррозионную стойкость в тропической морской атмосфере. Такие покрытия используют для выхлопных труб в автомобилях, выхлопных и глушительных системах, в ваннах для термообработки, для разливочных ковшей, емкостей для процесса цементации, вентиляторов для горячего газа.

Алюминиевые покрытия являются хорошей основой для последующих покрытий, в том числе для нанесения стеклоэмалей.

В связи с тем что коррозионная стойкость алюминия основана на образовании защитной окисной пленки, на поверхностях деталей с ограниченным доступом кислорода сопротивляемость коррозии этих покрытий уменьшается. Алюминиевые покрытия чувствительны к щелевой коррозии. В местах скопления пыли, грязи, технологических остатков, ограничивающих доступ

кислорода к поверхности детали, они подвергаются усиленному коррозионному разрушению.

Алюминиевые покрытия не рекомендуется применять в атмосфере, содержащей взрывчатые смеси, а также в контакте с медью и ее сплавами.

**Кадмиевые покрытия.** Этот вид покрытий наносится на детали из черных и цветных металлов электролитическим методом и осаждением из паров.

Кадмиевые покрытия используются для защиты от коррозии деталей, работающих в условиях контакта с морской водой или растворами хлористых солей. По сравнению с цинковыми покрытиями кадмиевые более устойчивы в кислых и нейтральных средах (за исключением минеральных кислот), не растворяются в щелочах. Они используются также для защиты от коррозии и коррозионного растрескивания деталей из высокопрочных и пружинных сталей. Кадмий используется для нанесения покрытий на болты, гайки и другие детали, имеющие резьбу и подвергающиеся частой разборке и сборке.

Кадмий токсичен, поэтому его нельзя использовать для нанесения покрытий на изделия, имеющие контакт с пищевыми продуктами, а также в тех случаях, когда необходима сварка после нанесения покрытия. Вследствие высокой стоимости кадмиевых покрытий их целесообразно использовать в случае, когда допустимы покрытия толщиной 25 мкм и тоньше.

Несмотря на разность потенциалов цинк и кадмий являются равноценными по защитному действию от контактной коррозии даже в случае контакта с магниевыми сплавами. Коррозионная стойкость кадмиевых и цинковых покрытий приведена в табл. 8 [15].

## 8. Скорость коррозии кадмиевых и цинковых покрытий

Атмосфера	Скорость коррозии, мкм/год, покрытия	
	кадмиевого	цинкового
Промышленная	10,0	5,1
Сельская	2,3	1,8
Морская	1,3	2,5

Коррозионную стойкость кадмиевого покрытия можно повысить путем хроматной пассивации. Следует отметить, что во влажной атмосфере, в том числе морской, пассивированный цинк в коррозионном отношении равноценен непассивированному кадмию.

Декоративные свойства (блеск) кадмиевого покрытия сохраняются более продолжительное время, чем цинкового.

**Хромовые покрытия.** Высокая отражательная способность и стойкость к коррозии и потускнению, приятный голубовато-белый цвет хромовых покрытий определили основную область их применения — для декоративной отделки деталей. Тонкие хромовые покрытия наносят на металлы и покрытия с меньшей коррозионной стойкостью. Толщина декоративных хромовых покрытий обычно составляет около 0,3 мкм, а износостойких — от 10 до 400 мкм.

Хромовые покрытия получают электролитическим методом и методом диффузионного хромирования. При диффузионном хромировании получают сплавы железа и хрома.

Институтом Укрнииспецсталь (г. Запорожье) разработан метод непрерывного вакуумно-диффузионного хромирования стального листа с содержанием хрома в поверхностном слое до 40 %



и толщиной покрытия до 120 мкм. Хромированный таким способом лист используется для изготовления деталей теплообменников, тепловентиляторов, глушителей легковых и грузовых автомобилей, а также других деталей, работающих при температурах до 800 °С.

Электролитические хромовые покрытия используются в качестве покрытий по промежуточному никелевому слою или в системах хром—никель—хром, никель—хром—никель—хром.

Хромовые покрытия используются для защиты от коррозии деталей машин в сельской и промышленной атмосфере, в среде сероводорода, в растворах некоторых солей и азотной кислоты. Хромовые покрытия непригодны для защиты от коррозии в соляной кислоте.

**Никелевые покрытия.** Химическая устойчивость никеля в различных средах обусловлена сильно выраженной способностью его к пассивированию. Никелевые покрытия защищают стальные изделия от коррозии только механически при отсутствии в них пор. Эти покрытия используют для защиты от коррозии деталей из стали и цветных металлов (медь и ее сплавы), декоративной отделки поверхности, а также для повышения износостойкости трущихся поверхностей. Никелевые покрытия нашли широкое применение в машиностроении, приборостроении, радиотехнической и автомобильной промышленности.

Для повышения защитного эффекта применяются двух- и трехслойные никелевые покрытия с подслоем меди или без него. Защитные свойства многослойных покрытий значительно повышаются, если на поверхность последнего никелевого слоя наносится микропористое хромовое покрытие.

В качестве декоративного используются никелевые покрытия толщиной 5—40 мкм, на которые наносится слой хрома толщиной около 0,3 мкм для придания изделию блеска.

Никелевое покрытие корродирует в атмосфере со скоростью 0,02—0,2 мкм/год. С увеличением срока службы скорость коррозии уменьшается благодаря пассивации поверхности покрытия, при этом происходит потускнение поверхности.

При использовании никелевых покрытий необходимо учитывать, что блестящий никель, содержащий серу, корродирует быстрее матового или полублестящего.

В сочетании с хромовыми покрытиями никелевые используются при изготовлении деталей автомобилей (ручки, бамперы, решетки, антенны, пепельницы и другие детали внутренней отделки) велосипедов (рамы, рули, звонки и т. д.), бытовой техники, приборов и инструментов и т. д.

Никелевые покрытия устойчивы при воздействии повышенной температуры и при контакте с пресной и морской водой.

Кроме того, никелевые покрытия используют для восстановления изношенных деталей машин.

**Покрытия из меди и ее сплавов.** Медные покрытия наносят на детали в основном методами электроосаждения или химического восстановления из растворов. Эти покрытия имеют высокие защитные свойства благодаря наличию темной окисной поверхностной пленки. Скорость коррозии медных покрытий составляет 0,2—0,6 мкм/год в сельской местности и 0,9—2,2 в промышленной атмосфере [13].

Медные покрытия очень чувствительны к аммиаку. Наличие в окружающей среде (воздухе,

воде, почве) аммиака даже в небольших количествах вызывает интенсивное коррозионное разрушение.

В основном медь используется в качестве промежуточного слоя для никельхромового покрытия на стали. Сплавы меди с цинком используются в качестве декоративных покрытий, а также для улучшения адгезии резины к другим металлам. Оловянистая бронза применяется в качестве подслоя для хромового покрытия из-за дефицитности никеля.

«Красная» обогащенная медью оловянистая бронза применяется для имитации цвета золота, а «белая» бронза, имеющая в своем составе около 50 % олова, по внешнему виду напоминает серебро.

Коррозионная стойкость оловянистых бронз такая же, как и никеля при покрытиях одинаковой толщины [15].

**Свинцовые покрытия.** Свинец имеет очень высокую коррозионную стойкость в атмосфере, речной и морской воде, почве и кислотах, что объясняется формированием на его поверхности сравнительно толстых, прочно связанных с металлом пленок. Скорость коррозии свинцовых покрытий незначительна.

На коррозию свинца не оказывает существенного влияния наличие в атмосфере таких агрессивных газов, как сероводород, сернистый и углекислый газы.

Однако его коррозионная стойкость уменьшается в присутствии ионов хлора, которые способствуют образованию растворимого хлорида свинца.

**Оловянные покрытия.** Олово имеет общую высокую коррозионную стойкость, за исключением кислотных и сильнощелочных сред.

Скорость коррозии оловянных покрытий в сельской атмосфере составляет около 0,02 мкм/год, в промышленной атмосфере — до 0,1 мкм/год. Средняя скорость коррозии покрытия в морской воде составляет 0,07—0,2 мкм/год.

Широкое распространение оловянные покрытия получили при изготовлении изделий, имеющих контакт с пищевыми продуктами, домашнего и промышленного кухонного оборудования, где используются покрытия толщиной от 0,4 до 2,5 мкм.

Хорошую защиту нагревателей воды обеспечивают покрытия толщиной от 10 до 25 мкм, полученные методом горячего погружения.

Оловянно-свинцовые покрытия имеют преимущества перед оловянными в атмосферах, сильно загрязненных окислами серы. Эти покрытия могут заменить оловянные на изделиях, где не предъявляются высокие требования к токсичности, например для емкостей, предназначенных для хранения топлива.

Методом электроосаждения могут быть получены оловянно-никелевые, оловянно-медные, оловянно-кадмиевые, оловянно-цинковые и оловянно-свинцовые покрытия, применение которых обусловлено свойствами входящих в их состав металлов.

**Покрyтия благородными металлами.** К благородным металлам относятся золото, серебро, платина, палладий, родий, рутений, ослий.

Золото является материалом, совершенно устойчивым к коррозии и потускнению во всех средах, за исключением смеси соляной и азотной кислот (царской водки).

Золото и серебро, кроме традиционного применения для ювелирных изделий и декоративных

## 9. Области применения металлических покрытий

Покрытия	Основной материал	Применение	Метод нанесения
Цинковые	Сталь, сплавы алюминия	В качестве защитных покрытий для деталей, подвергающихся воздействию атмосферы, бензина, воды и почвы	Горячее погружение, электроосаждение, металлизация, вакуумное осаждение
Алюминиевые	Сталь	Для деталей, подвергающихся воздействию атмосферы (в том числе промышленной), воды, работающих в контакте с почвой Для деталей, подвергающихся высокотемпературному окислению или воздействию горячих газов	Горячее погружение, металлизация или плакировка, вакуумное осаждение
Алюминиевые	Алюминиевые сплавы	Для деталей, подвергающихся воздействию агрессивной среды, погружаемых в воду или почву; для защиты алюминиевых сплавов от коррозии под напряжением	Металлизация или плакировка
Кадмиевые	Сталь, цветные металлы	Для деталей, подверженных воздействию влаги, морской воды, хлористых солей, паров органических веществ; для поверхностей, требующих хорошей плавкости; для зажимов с резьбой низкого скручивающе-	Электроосаждение или осаждение из паров

Хромовые	Сталь	го усилия и конструктивных элементов, контактирующих с алюминием В качестве защитных покрытий для деталей, подвергающихся воздействию сельской и промышленной атмосферы, сероводорода, высоких температур (до 800 °C); в качестве износостойкого покрытия	Электроосаждение, диффузионное покрытие
Хромовые	Алюминий, медь и ее сплавы, цинк и его сплавы	Для деталей, устойчивых к износу и высокотемпературному окислению	Диффузионное покрытие
Никелевые	Стали или сплавы цинка, медь и ее сплавы, алюминий	В качестве противокоррозионных покрытий для деталей машин, подверженных атмосферному воздействию, воздействию высокой температуры и находящихся в контакте с пресной или морской водой (используемых зачастую вместе с медными грунтовыми покрытиями и хромовыми верхними покрытиями); для защитных покрытий в химических установках; с целью обеспечения твердости и износостойкости	Электроосаждение, металлизация, плакировка, химическое осаждение
Никелевые	Пластмасса	В качестве предварительных покрытий	Химическое восстановление и электроосаждение

Покрyтия	Основной материал	Применение	Метод нанесения
Медные	Сталь и ее сплавы	В качестве промежуточного покрытия для защиты никель-хромовых покрытий; для покрытия печатных и электронных изделий или гравирования	Электроосаждение или химическое восстановление
Медные	Пластмасса	В качестве предварительных покрытий для защиты покрытий на пластмассах	Химическое восстановление и электроосаждение
Медные	Сталь	В качестве защитных покрытий, устойчивых к воздействию атмосферы и водной среды; для поверхностей, требующих хорошей плавкости и электропроводности	Электроосаждение, химическое восстановление или плакировка
Свинцовые	Сталь или медь	Для покрытий, устойчивых к действию кислот в химических установках; для придания устойчивости к атмосферному воздействию в водной среде или почве; с целью обеспечения высокой плавкости; для звукоизоляции	Горячее погружение, плакировка или электроосаждение
Оловянные	Сталь, медь и ее сплавы	В качестве покрытий, защищающих от атмосферного воздействия, вод-	Горячее погружение или электроосаждение

ние

ной среды или органических кислот; в пищевой промышленности при изготовлении консервных банок: с целью создания хорошей плавкости и электропроводности поверхностей

Золотые	Медь и ее сплавы	В качестве защитных покрытий с хорошей электропроводностью в электронике	Электроосаждение, химическое восстановление, плакировка или вакуумное осаждение
Золотые	Пластмасса	В качестве электропроводных покрытий	Химическое восстановление или вакуумное осаждение
Серебряные	Медь и ее сплавы, никель и его сплавы	В качестве защитных покрытий деталей химических установок и изделий электронной промышленности	Химическое восстановление, электроосаждение, вакуумное осаждение
Серебряные	Пластмасса	В качестве защитных покрытий, а также в целях обеспечения повышенной электропроводности	Химическое восстановление или вакуумное осаждение



целей, применяются в электротехнической и электронной промышленности в виде покрытий для контактов и для отделки волноводов, полых проводников высокочастотного тока. Толщина покрытия из золота и серебра для промышленных целей ограничена. Например, для скользящих контактов применяется покрытие, состоящее из подслоя серебра толщиной 0,0075 мм и слоя золота толщиной 0,00025 мм [15].

Представитель платиновой группы благородных металлов — родий применяется для защиты от потускнения серебра, а также для отделки металлических рефлекторов и электрических контактов.

Широкое применение в промышленности покрытий благородными металлами ограничивается их высокой стоимостью.

Характерные области применения металлических покрытий приведены в табл. 9.

### **3. ВЫБОР ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

При выборе лакокрасочных материалов учитываются условия эксплуатации конкретного изделия, свойства лакокрасочных материалов, опыт их использования для защиты от коррозии аналогичных изделий, а также требования технической эстетики к отделке данной группы изделий [10, 16, 30, 35].

Согласно ГОСТ 9825—73 все лакокрасочные материалы разделяются на группы в зависимости от основных пленкообразующих, входящих в их состав (табл. 10). Лакокрасочные материалы внутри групп классифицируют по признаку их преимущественного назначения (табл. 11).

Лакокрасочные материалы маркируются следующим образом. После слов «эмаль», «лак», «грунтовка» и т. д. ставятся две буквы, обознача-

## 10. Лакокрасочные материалы

Группа	Условное обозначение	Группа	Условное обозначение
Глифталевые	ГФ	Полиакриловые	АК
Пентафталевые	ПФ	Сополимерно-акриловые	АС
Меламинные	МЛ	Нитроцеллюлозные	НЦ
Мочевинные	МЛ	Этилцеллюлозные	ЭЦ
Фенольные	ФЛ	Перхлорвиниловые	ХВ
Фенолоалкидные	ФА	Фторопластовые	ФП
Эпоксидные	ЭП	Поливинилацетатные	ВА
Эпоксифирные	ЭФ	Кремнийорганические	КО
Сополимерно-винилхлоридные	ХС	Дивинилацетиленовые	ВН
Алкидно- и масляно-стирольные	МС	Каучуковые	КЧ
Полиэфирные ненасыщенные	ПЭ	Полиамидные	АД
Полиуретановые	УР	Поливинилацетальные	ВЛ
		Битумные	БТ
		Канифольные	КФ
		Масляные	МА

чающие пленкообразующее вещество (см. табл. 10). Для материалов, не содержащих органических растворителей, перед этими буквами ставится индекс, указывающий разновидность лакокрасочного материала: П — краска порошковая, В — краска водоразбавляемая, Э — краска водоэмульсионная, Б — лак, не содержащий активного растворителя. После буквенного обозначения через черточку ставится цифровой индекс. Первая цифра обозначает преимущественное назначение лакокрасочного материала (см. табл. 11). Затем указывается порядковый номер, присвоенный конкретному лакокрасочному материалу и состоящий из одной, двух или трех цифр.

Основные свойства лакокрасочных материалов следующие.

## 11. Условные обозначения групп лакокрасочных материалов по назначению

Группа лакокрасочных материалов	Обозначение	Характеристика покрытий (условия эксплуатации)
Атмосферостойкие	1	Стойкие к атмосферным воздействиям в различных климатических условиях и эксплуатируемые на открытых площадках
Ограниченно атмосферостойкие	2	Стойкие при эксплуатации под навесом и внутри неотапливаемых и отапливаемых помещений
Водостойкие	4	Стойкие к воздействию пресной воды и ее паров, а также морской воды
Специальные	5	Обладают специфическими свойствами: стойкие к рентгеновским и другим излучениям, светящиеся, терморегулирующие, для пропитки тканей, окраски кожи, резины, пластмасс и т. д.
Маслобензостойкие	6	Стойкие к воздействию минеральных масел и консистентных смазок, керосина, бензина и других нефтепродуктов; содержат не более 20 % ароматических соединений
Химически стойкие	7	Стойкие к воздействию кислот, щелочей и других жидких химических реагентов и их паров
Термостойкие	8	Стойкие к воздействию повышенных температур (от 60 до 500 °С)
Электроизоляционные	9	Эксплуатируются в условиях воздействия электрических напряжений, электрической дуги и поверхностных разрядов
Грунтовки	0	Применяются при подготовке поверхности для нанесения лака или краски
Шпатлевки	00	Применяются для устранения дефектов поверхности, в том числе неровностей, трещин и др.

*Алкидные* (глифталевые и пентафталевые) — имеют хороший декоративный вид и адгезию, стойки к воздействию нефтепродуктов, механически прочны.

Глифталевые материалы применяют, в основном, в качестве грунтовок и для защиты поверхностей изделий, использующихся внутри помещений. Пентафталевые, кроме того, применяют для защиты от коррозии изделий, эксплуатирующихся в атмосфере умеренного климата.

Алкидные лакокрасочные материалы наносят кистью, валиками, распылением, наливом и другими способами.

*Алкидностирольные* — образуют блестящие пленки с хорошей адгезией к металлическим поверхностям, обладают достаточной прочностью и твердостью, устойчивы к периодическому воздействию бензина, мыльных водных растворов, щелочи и минеральных масел.

Защитные свойства покрытий улучшаются после сушки при повышенной температуре, а также при нанесении их на металлические поверхности, предварительно загрунтованные алкидной, фосфатирующей или феноломасляной грунтовками.

Алкидностирольные покрытия обладают меньшей атмосферостойкостью по сравнению с алкидными.

*Меламино- и мочевиноалкидные* — образуют покрытия, обладающие достаточной эластичностью и высокими защитными и декоративными свойствами. По адгезии к металлу эти покрытия уступают глифталевым и пентафталевым, в связи с чем их обычно наносят на поверхности, предварительно загрунтованные алкидными или феноломасляными грунтовками. Покрытия полу-

чают окунанием, обливом или распылением с последующей сушкой при повышенной температуре (100—140 °C).

Мочевиноалкидные покрытия по атмосферостойкости уступают меламиналкидным. Меламиналкидные эмали позволяют получать покрытия с характерным рисунком — «шагрень» и молотковые.

*Фенольные* — образуют покрытия, обладающие, по сравнению с алкидными и масляно-лаковыми, более высокими водо- и атмосферостойкостью, механической прочностью, адгезией к металлу.

Фенольные эмали обладают повышенными антикоррозионными свойствами, устойчивы к действию высоких температур и влажности воздуха в условиях тропического климата. Некоторые из фенольных эмалей устойчивы к кислотам, бензину и маслам.

*Водоразбавляемые* — получают на основе водорастворимых специально синтезированных смол: акриловых, алкидных, эпоксидных, феноло- и меламиноформальдегидных и др.

Грунтовку ПФ-033 наносят окунанием на предварительно фосфатированную поверхность, эмаль ФЛ-149 — окунанием или обливом.

*Эпоксидные и эпоксифирные* — образуют пленки, отличающиеся стойкостью к воде, щелочам, слабым кислотам, минеральным маслам, различным видам топлива, хорошей адгезией и электроизоляционными свойствами.

С повышением температуры отверждения эпоксидных материалов до 100—110 °C уменьшается время отверждения, улучшается адгезия, повышается твердость, водостойкость, понижается паропроницаемость покрытий.

Недостатком эпоксидных покрытий является их склонность к пожелтению и мелению при воздействии солнечного облучения.

*Полиуретановые* — позволяют получать покрытия, обладающие высокими декоративными качествами, большой твердостью, хорошей абразивостойкостью, стойкостью к действию пресной и морской воды, минеральных кислот, бензина, керосина, атмосферы, загрязнений промышленными газами и пылью, атмосферных осадков.

Недостатком полиуретановых лакокрасочных материалов является их недостаточная светостойкость и повышенная токсичность.

Полиуретановые лаки и эмали поставляются комплектно с разбавителем и отвердителем. Компоненты смешивают непосредственно перед использованием и наносят на поверхность деталей краскораспылителем.

*Кремнийорганические* — образуют покрытия, стойкие при высоких и низких температурах, с хорошими электроизоляционными свойствами во влажной среде, стойкие к минеральным маслам, бензину, воде, растворам солей, слабым кислотам и щелочам. Однако эти покрытия уступают по адгезии к металлам и прочности алкидным, эпоксидным и алкидномеламиновым.

Для повышения термостойкости покрытий в качестве пигментов используют вещества, выдерживающие без изменений высокие температуры: окись хрома, окись магния, двуокись титана, сажу, алюминиевую пудру.

Кремнийорганические лаки и эмали наносят на поверхности деталей с помощью краскораспылителей.

*Перхлорвиниловые* — образуют покрытия, обладающие высокой атмосферостойкостью и хорошими защитными свойствами.

Недостатками покрытий являются: низкая свето- и термостойкость (не выше 100 °С), а также слабая адгезия к незагрунтованным металлическим поверхностям.

Хорошую адгезию перхлорвиниловых эмалей получают путем нанесения их на грунтовки на основе акриловых, феноломасляных, алкидных и других смол. Кроме того, в перхлорвиниловые эмали и грунтовки вводят алкидные смолы.

Перхлорвиниловые лакокрасочные материалы наносят краскораспылителем.

*Материалы на основе сополимеров винилхлорида* позволяют получать покрытия с хорошей эластичностью, высокой прочностью и лучшей, по сравнению с перхлорвиниловыми, адгезией.

Недостатками покрытия на основе сополимера ВХВД-40 являются низкая атмосферо- и светостойкость. Эти покрытия наносят краскораспылителем на поверхности, загрунтованные акриловыми, алкидными и феноломасляными грунтовками.

Покрытия на основе сополимеров А-15 и А-15-0 имеют лучшие атмосферо-, свето- и термостойкость по сравнению с покрытиями на основе сополимера ВХВД-40.

*Полиакриловые и алкидноакриловые* — образуют покрытия с хорошей свето-, и атмосферо-стойкостью, механической прочностью и блеском, устойчивостью к воздействию воды, бензина и смазочных масел. Эмали АС-182 применяют для окраски автобусов, троллейбусов, сельскохозяйственных и животноводческих машин; наносят на поверхности, загрунтованные алкидными, фосфатирующими, феноломасляными и другими грунтами.

*Нитроцеллюлозные* — образуют покрытия, отличающиеся хорошим блеском, твердостью,

бензомаслостойкостью и удовлетворительной атмосферостойкостью.

К недостаткам нитроцеллюлозных покрытий относятся плохая адгезия к металлическим поверхностям, недостаточная эластичность, невысокая светостойкость, горючесть и нестойкость к действию тепла.

Для повышения адгезии в нитроцеллюлозные лакокрасочные материалы вводят различные твердые смолы: канифольнопаленные, циклогексаноформальдегидные и др.

*Поливинилацетальные* — позволяют получать покрытия с хорошей адгезией к железоуглеродистым и цветным сплавам, обладающие значительной стойкостью к воздействию высоких и низких температур, бензина, керосина, минеральных масел, горячей воды, пара.

*Безмасляные битумные* — образуют покрытия, стойкие к действию водяных паров и воды и нестойкие к действию солнечного света. Эти покрытия применяют, в основном, для защиты поверхностей металлических изделий и конструкций, работающих в воде или в условиях повышенной влажности, а также при хранении на складах. Введение в безмасляные битумные материалы алюминиевой пудры придает покрытиям серебристый цвет и улучшает их атмосферостойкость.

*Маслянолаковые* — образуют покрытия, которые отличаются твердостью, блеском, хорошо шлифуются. Однако они неустойчивы к атмосферным воздействиям. Эти покрытия используются для отделки изделий и деталей, работающих внутри помещений.

*Грунтовки* оказывают значительное влияние на прочность, долговечность покрытия, а также на его защитные свойства. Грунтовки для



металлических поверхностей можно разделить на следующие группы: ингибиторные, пассивирующие, фосфатирующие и протекторные.

В состав ингибиторных грунтовок в качестве пигментов входят свинцовый и железный сурик, свинцовый крон, цинковые белила, мумия, сажа, которые образуют со связующими веществами сложные соединения, замедляющие процесс коррозии. К этим грунтовкам относятся ПФ-046, ГФ-021, ФЛ-03-к, ПФ-0142, ГФ-017, ЭП-09Т и др.

Пассивирующие грунтовки содержат цинковый и стронциевый кроны, хромат калия и другие соли хромовой кислоты. Эти пигменты способствуют образованию на поверхности металла пассивирующей пленки, повышающей его коррозионную стойкость. К пассивирующим относятся грунтовки ГФ-031, АК-069, АК-070, ФЛ-03-ж, ФЛ-086 и др.

В состав фосфатирующих грунтовок входит ортофосфорная кислота, благодаря которой на поверхностях стальных, алюминиевых и цинковых изделий или изделий из их сплавов образуется тонкий слой фосфатов, который, после нанесения на него слоя эмали или лака, служит хорошей защитой от атмосферной коррозии. Кроме того, эти грунтовки обеспечивают пассивирующее действие благодаря наличию хроматного пигмента — цинкового крона. К фосфатирующим относятся грунтовки ВЛ-02, ВЛ-08, ВЛ-023 и др.

Протекторные грунтовки в качестве пигмента содержат порошки цинка, алюминия, магния. Эти пигменты, обладая большим отрицательным потенциалом, чем железо, под воздействием агрессивной среды будут разрушаться, защищая поверхности стальных деталей.

Характерные области применения основных лакокрасочных материалов приведены в табл. 12 [10, 35, 36].

Качество покрытия зависит от метода нанесения лакокрасочного материала. Разрабатывая изделие машиностроения, конструктор в зависимости от конкретной ситуации и желаемого результата может либо изменить конструкцию деталей, либо ввести в конструкторскую документацию ограничения по применению того или иного метода нанесения лакокрасочного материала. Области применения и характеристики методов нанесения лакокрасочных материалов следующие [12, 15, 35].

*Окувание* — один из самых распространенных методов нанесения покрытия на детали средних размеров. Однако его применение связано с большим расходом лакокрасочных материалов. При этом толщина пленки от верхней части изделия к нижней получается неравномерной, плохо покрываются острые кромки, выступы, а также внутренние поверхности деталей. Возможно испарение растворителя с горячих поверхностей и конденсация на холодных при сушке деталей.

*Струйная окраска* применяется для нанесения покрытий на детали больших размеров, дает хорошее проникновение в пористых образцах. Имеет те же, но не так явно выраженные недостатки, что и метод окувания.

*Медленное окувание* применяется, в основном, для нанесения покрытий на небольшие изделия. Дает более однородную пленку по сравнению с простым окуванием. Однако этот метод не гарантирует окрашивания внутренних поверхностей.

## 12. Области применения основных лакокрасочных материалов

Лакокрасочный материал	Цвет	Применение
<i>Алкидные лакокрасочные материалы</i>		
Грунтовка ГФ-017	Темно-коричневый	Грунтование кабин автомобилей и других подобных изделий
Грунт-шпатлевка ГФ-018	Желтый, серый	Исправление небольших дефектов (рисок, царапин и других повреждений) поверхностей кузовов и других деталей легковых автомобилей, загрунтованных глифталевыми, пентафталевыми и другими грунтовками
Грунтовка ГФ-020	Красно-коричневый	Грунтование поверхностей изделий из черных металлов: вагонов, автобусов, троллейбусов, трамваев, тракторов, сельскохозяйственных машин и др.
Грунтовка ГФ-031	Желтый	Грунтование поверхностей деталей из стали, алюминевых и магниевых сплавов, работающих при температуре до 200 °С
Грунтовка ГФ-032	Коричневый	Защита от коррозии предварительно фосфатированных (или оцинкованных) поверхностей стальных деталей или в системах покрытий с перхлорвиниловыми эмалями
Шпатлевка ГФ-0075	Розовый, серый	Выравнивание дефектов на загрунтованных грунтовой ГФ-020 и окрашиваемых нитроэмалью поверхностях

Шпатлевка ПФ-002	Красно-коричневый	Выравнивание дефектов предварительно загрунтованных поверхностей металлических и деревянных деталей
Эмаль ПФ-115	Различные цвета	Окраска железнодорожных вагонов, троллейбусов, автобусов, трамваев, дорожных машин и других изделий, работающих в атмосферных условиях
Эмаль ПФ-223	Различные цвета	Окраска поверхностей предварительно загрунтованных деталей из различных сплавов, работающих внутри изделий
Эмаль ПФ-571	Серый	Нанесение по грунт-шпатлевке ГФ-018 для выравнивания поверхности лакокрасочного покрытия кузова легкового автомобиля
Эмаль ГФ-820	Серебристо-алюминевый	Окраска поверхностей деталей из различных металлов и сплавов, подвергающихся нагреву до 250 °С

### *Алкидностирольные лакокрасочные материалы*

Грунтовка МС-067	Красно-коричневый	Грунтование поверхностей деталей приборов и оборудования под окраску алкидными, алкидно-стирольными или нитроцеллюлозными эмалями
Шпатлевка МС-006	Розовый	Исправление мелких дефектов на поверхности прибор, оборудования, кузовов автомобилей и других изделий
Эмаль МС-17	Черный	Окраска поверхностей деталей шасси автомобиля
Эмаль МС-17	Светло-серый	Окраска поверхностей автомобильных двигателей

Лакокрасочный материал	Цвет	Применение
Эмаль МС-226	Серый, белый	Окраска поверхностей станков, медицинского оборудования и других изделий или деталей, эксплуатируемых внутри помещений
<i>Меламино- и мочевиноалкидные лакокрасочные материалы</i>		
Эмаль МЛ-12	Различные цвета	Окраска предварительно загрунтованных и зашпатлеванных поверхностей деталей автобусов, мотоциклов, велосипедов и других изделий
Эмаль МЛ-152	То же	Окраска предварительно загрунтованных поверхностей деталей грузовых автомобилей, автобусов, тракторов, сельскохозяйственных машин и других изделий, работающих на открытом воздухе
Эмали: МЛ-165М МЛ-165	То же (полуматовые); То же (полуглянцевые)	Декоративная отделка приборов, деталей машин и бытовых изделий
Эмаль МЛ-197	» »	То же
Эмаль МЛ-242	Белый	Окраска поверхностей загрунтованных и зашпатлеванных кузовов легковых автомобилей Окраска поверхностей холодильников и других металлических изделий, эксплуатируемых в помещении

Эмаль МЛ-1110	Различные цвета	Окраска загрунтованных и зашпатлеванных поверхностей кузовов легковых автомобилей
Эмаль МЧ-13	Различные цвета	Окраска поверхностей деталей велосипедов, мотоциклов, приборов и других изделий
Грунтовка МЧ-042	Белый	Грунтование поверхностей изделий под окраску белой меламиноалкидной эмалью МЛ-242
<i>Фенольные лакокрасочные материалы</i>		
Грунтовка ФЛ-03К	Коричневый	Грунтование металлических и деревянных поверхностей
Грунтовка ФЛ-03Ж	Желтый	Грунтование поверхностей деталей из черных и цветных металлов
Грунтовка ФЛ-086	Желтый	Грунтование деталей из черных металлов и алюминиевых сплавов. Применяют как защитное покрытие деталей, работающих внутри изделий, а также в сочетании с алкидными, меламиновыми, перхлорвиниловыми и другими покрытиями
Эмаль ФЛ-143	Черный	Окраска (без грунтовок) деталей шасси автомобилей
<i>Эпоксидные и эпоксифирные лакокрасочные материалы</i>		
Грунтовка ЭП-09Т	Красный, желтый	Грунтование деталей из черных и цветных металлов и сплавов. Для цветных сплавов используют только желтую грунтовку
Грунтовка ЭП-076	Желтый	Грунтование деталей из черных и цветных металлов и сплавов под эпоксидные эмали ЭП-140

Лакокрасочный материал	Цвет	Применение
Грунтовка ЭФ-083	Серый	Наносится на предварительно загрунтованные водорастворимой грунтовой поверхности кузова и другие детали автомобиля
Шпатлевка ЭП-0010	Красно-коричневый	Выравнивание дефектов на поверхностях различных металлических изделий
Шпатлевка ЭП-0026	Серый	Выравнивание поверхностей деталей из стеклотекстолита различных марок
Эмаль ЭП-140	Различные цвета	Окраска поверхностей деталей из черных и цветных металлов и сплавов, загрунтованных акриловыми и эпоксидными грунтовками
Эмаль ЭП-255	Белый, зеленый	Окраска поверхностей деталей из стали, алюминиевых и магниевых сплавов

*Полиуретановые лакокрасочные материалы*

Лак УР-231	Бесцветный	Защита деталей приборов и других изделий из черных и цветных металлов и сплавов
Лак УР-9130	От светло-желтого до темно-желтого	Нанесение влагостойкого электроизоляционного покрытия на детали из стали, алюминия, меди и других металлов, а также гетинакса и текстолита

Эмаль УР-175

Различные цвета  
Окраска деталей изделий машиностроения, эксплуатируемых при повышенной влажности и в условиях тропического климата

*Кремнийорганические лакокрасочные материалы*

Эмаль КО-81

Зеленый

Окраска стальных, алюминиевых и керамических поверхностей для защиты от кратковременного воздействия температуры до 230 °С

Эмаль КО-83 (алюминиевая)

Серебристый

Окраска металлических поверхностей для защиты от кратковременного воздействия высокой температуры (не выше 400 °С)

Эмаль КО-84

Различные цвета

Окраска поверхностей стальных фосфатированных и алюминиевых анодированных деталей, работающих при температуре до 300 °С (калориферов, теплообменников, трубопроводов химической аппаратуры)

Эмаль КО-88

Серебристый

Окраска поверхностей деталей из черных металлов, длительно эксплуатируемых при температуре до 500 °С

Эмаль КО-811

Красный, черный, зеленый

Окраска поверхностей деталей из черных металлов, подвергающихся нагреву до 400 °С

*Перхлорвиниловые лакокрасочные материалы*

Грунтовка ХВ-050

Красно-коричневый

Грунтование поверхностей металлорежущих станков под окраску перхлорвиниловыми эмалями

Шпатлевки ХВ-004; ХВ-005

Зеленый, серый

Выравнивание загрунтованных металлических и деревянных поверхностей под окраску перхлорвиниловыми эмалями



Лакокрасочный материал	Цвет	Применение
Эмали XB-16; XB-124	Различные цвета	Окраска загрунтованных поверхностей деталей из черных и цветных металлов, эксплуатируемых при высокой влажности и в атмосферных условиях
Эмаль XB-114	Желтый	Временная защита от коррозии деталей изделий, хранящихся на открытом воздухе
Эмаль XB-714	Различные цвета	Окраска загрунтованных поверхностей деталей изделий, эксплуатируемых в атмосферных условиях с повышенным содержанием агрессивных газов
Эмали XB-110; XB-113	Различные цвета	Окраска загрунтованных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин, железнодорожных вагонов, станков и другого оборудования
Эмаль XB-228	Различные цвета	Окраска металлорежущих станков, загрунтованных глифталевыми или фенолмасляными грунтовками

*Сополлимерно-винилхлоридные лакокрасочные материалы*

Эмаль XC-119	Различные цвета	Окраска железнодорожных вагонов, мостов и других изделий и конструкций, эксплуатируемых в атмосферных условиях
Эмаль XC-759	То же	Окраска железнодорожных цистерн и других металллических конструкций, предварительно загрунтованных грунтовкой XC-059, для защиты от

воздействия щелочей, кислот и агрессивных газов  
Повышение защитных свойств предварительно за-  
грунтованных и окрашенных железнодорожных  
цистерн и других изделий

### *Полиакриловые и алкидноакриловые лакокрасочные материалы*

Грунтование поверхностей металлических деталей,  
а также в качестве компонента в системах быстро  
сохнущих покрытий на основе нитроцеллюлозы,  
перхлорвиниловых, акриловых и других смол  
Окраска поверхностей домашних холодильников,  
стиральных машин и другой бытовой техники

Окраска кузовов автомобилей, деталей мотоцик-  
лов, приборов медицинского оборудования и дру-  
гих изделий

Окраска дорожных знаков, спасательного снаря-  
жения, биев и т. д., с целью улучшения их ви-  
димости при дневном освещении

Окраска различных поверхностей  
Декоративная окраска наружных поверхностей  
различных изделий

Лакирование поверхностей деталей из алюминия  
и алюминиевых сплавов

Лакирование поверхностей деталей из алюминия  
и алюминиевых сплавов. Покрытия на основе  
АС-16 обладают лучшим глянцем и защитными  
свойствами, чем покрытия на основе АК-113

Лак ХС-724

Бесцветный

Грунтовки АК-069; АК-070 Желтый

Эмаль АК-171

Белый

Эмали АС-127; АС-127П

Различные цвета

Эмаль АС-554  
(дневная  
флюоресцентная)

Красный

Эмаль АС-599  
Эмаль АС-1115

Белый  
Различные цвета

Лаки АК-113; АК-113Ф

Бесцветный

Лак АС-16

То же

Лакокрасочный материал	Цвет	Применение
<i>Нитроцеллюлозные лакокрасочные материалы</i>		
Шпатлевки НЦ-007; НЦ-008; НЦ-009 Эмаль НЦ-11	Красно-коричневый, защитный Различные цвета	Выравнивание загрунтованных металлических и деревянных поверхностей Окраска предварительно загрунтованных и зашпатлеванных поверхностей легковых автомобилей
Эмаль НЦ-216	Серо-голубой, защитный, светлосерый, черный	Окраска двигателей и других металлических и деревянных изделий
Эмаль НЦ-217	Серо-голубой, светлосерый	То же
Эмаль НЦ-221 (молотковая)	Зеленый, серебристый, серый, салатный, беж, синий	Декоративная окраска различных изделий, эксплуатируемых внутри помещений
Эмаль НЦ-246	Фисташковый, зеленое-голубой, светлосерый и др.	Окраска загрунтованных поверхностей станков, прессов и металлических деталей других изделий, эксплуатируемых внутри помещений
Эмаль НЦ-273 (алюминивая) Лак НЦ-134	Серебристый Бесцветный	Окраска двигателей автомобилей, литых деталей из стали и чугуна Покрытие поверхностей металлических и деревянных изделий, эксплуатируемых внутри помещений

Лак НЦ-286	Черный	Покрытие поверхностей металлических деталей двигателей и приборов
------------	--------	---

*Поливиниллацетатные лакокрасочные материалы*

Грунтовки ВЛ-0,2; ВЛ-08	Зеленсвато-желтый	Для повышения адгезии и защитных свойств покрытий, наносимых на поверхности деталей из черных и цветных металлов
-------------------------	-------------------	--

Эмаль ВЛ-725	Серебристый	Окраска поверхностей деталей из алюминиевых сплавов, работающих при повышенных температурах в среде бензина, керосина и минеральных масел
--------------	-------------	---

Эмаль ВЛ-515	Красно-коричневый	Окраска емкостей для воды, бензина, минеральных масел, дизельного топлива
--------------	-------------------	---

Лак ВЛ-725	Бесцветный	Приготовление эмали ВЛ-725 алюминиевой. В качестве последнего слоя покрытия для повышения защитных свойств
------------	------------	--

Лак ВЛ-725Г	То же	Герметизация литых деталей из алюминиевых и магниевых сплавов, работающих в среде керосина и бензина
-------------	-------	--

Лакокрасочный материал	Цвет	Применение
<i>Битумные и масляно-лаковые материалы</i>		
Лак БТ-123	Черный	Покрытие деталей автомобилей, велосипедов
Лак БТ-180	То же	Покрытие шасси и других деталей автомобилей
Лак БТ-577	»	Покрытие деталей и изделий для кратковременного хранения и транспортировки
Лак БТ-569	Черный	Покрытие предварительно загрунтованных поверхностей деталей из стали и магниевых сплавов
Лак БТ-783	То же	Покрытие металлических поверхностей, подвергающихся воздействию серной кислоты и ее паров
Краска БТ-177	Серебристый	Покрытие металлических поверхностей изделий и конструкций, эксплуатируемых в атмосферных условиях
Эмаль БТ-538	Черный	Окраска поверхностей деталей из стали и магниевых сплавов

*Метод полива* обеспечивает качественное покрытие в основном плоских поверхностей.

*Валковый метод* обеспечивает однородную тонкую пленку на плоских поверхностях, которая, однако, не всегда способна защищать от коррозии детали с шероховатыми поверхностями.

*Метод электроосаждения* может применяться для окраски большинства изделий. Этот метод обеспечивает однородное покрытие поверхностей, включая грубые и шероховатые, а также внутренние поверхности, острые кромки, изломы и т. д. Преимущество метода — небольшой расход лакокрасочных материалов.

*Нанесение покрытия в псевдосжиженном слое* обеспечивает большую толщину пленки на поверхностях небольших по размеру деталей. При этом толщина покрытия, как правило, неравномерная.

*Пневматическое распыление* используется для нанесения большинства лакокрасочных материалов на поверхности деталей различных размеров. Качество покрытия в значительной мере определяется квалификацией оператора. Используя метод пневматического распыления, очень трудно получить равномерное покрытие в труднодоступных местах деталей сложной конфигурации.

*Безвоздушное распыление* дает лучшее качество окраски труднодоступных мест по сравнению с пневматическим. Качество покрытия при этом в меньшей мере зависит от квалификации оператора.

*Электростатическое распыление* наиболее экономично при окраске длинных деталей. Однако в полых изделиях получить качественное покрытие очень трудно.

### 13. Химическая стойкость полимерных материалов в различных средах

Полимер	Вода и растворы со-лей	Основа-ния		Кислоты		Окислители (исклю-чая кислоты)	Бензин, масла, жид-кое топливо	Углено-дороды		Лалогенулеводороды	Кетоны	Эфиры		Спирты	
		слабые	сильные	слабые	сильные			алифатиче-ские	ароматические			простые	сложные		
Термопласты															
Полиэтилен:															
высокого давления	В *	В	В	В	В	С	С	Н	О	О	Н	Н	О	О	О
низкого давления	В	В	В	В	В	С	С	О—С	О	О	Н	Н	С	Н—В	Н
Полипропилен	В	В	В	В	В	С	В/С	О—Н	В/О	Н	В	В	О	О	О
Поллизобутилен	В	В	В	В	В	С	О	Н	Н	Н	В	В	Н	С	В
Полистирол	В	В	В	В	В	О—С	О—С	О—Н	О	Н	Н	Н	Н	Н	В
Полиметилметакрилат	В	В	О	В	О	Н	В	В	В	Н	Н	Н	Н	Н	Н
Поливинилхлорид:															
жесткий	В	В	В	В	В	С	В	В	В	Н	Н	Н	В	Н	О
пластикат	В	В	О	В	Н	Н	Н—Н	Н	Н	Н	Н	Н	О	Н	В

Полвинилиденхлорид	В	В	—	В	—	В	В	—	Н	—	В	В
Политетрафторэтилен	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В
Политрифторхлорэтилен	В	В	В	В	В	С	В—С	С	О	В	Н	Н
Полвинилиденфторид	В	В	В	В	В	—	В	В	С	С	С	—
Полиамиды	В—С	С	О	Н	Н	Н	В	В	С	В	В	В
Поликарбонат	В	Н	Н	В	С—О	С	В	В	Н	Н	Н	С
Полиформальдегид	В	В	В—С	Н	Н	С	В	В	С	В—С	О	В
Пентапласт	В	В	В—Н	В	В	Н	В	В	В	В—О	В	В
<i>Реактопласты</i>												
Фенолоформальдегидные	В	С	Н	С	Н	О	В—С	В	С	В	С	—
Феолит	В	С	Н	В	В	Н	В	В	В	—	—	—
Фурановые	В	В	В	В	В	С—Н	В	В	В	В	В	—
Кремнийорганические	В	Н	Н	В	Н	О	О	Н	Н	В	Н	—
Полиэфирные	В—С	Н	Н	О	О	О—Н	В	В	Н	С—О	Н	О
Полиуретановые	В	В	Н	О	Н	О—Н	В	В	В	О	Н	В
Эпоксидные	В	В	О—В	В	С—С	Н	В	В	В	О—С	О	В

\* В — вполне стойкие; С — стойкие; О — относительно стойкие; Н — нестойкие.



Воздушное и безвоздушное электростатическое напыление может обеспечить получение качественного покрытия в электрически нейтральных областях и в полых изделиях.

*Кистевой метод* применяется для окраски больших поверхностей. Однако этот метод малопроизводителен при высокой стоимости работ, не позволяет окрашивать труднодоступные места. Качество покрытия почти полностью зависит от квалификации оператора.

#### **4. ВЫБОР НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ**

Для защиты от коррозии в различных отраслях машиностроения в последнее время широкое применение находят полимерные материалы, гуммировочные, конверсионные, керамические и эмалевые покрытия.

Полимерные вещества и пластмассы, изготовляемые на основе полимеров, обладают рядом ценных свойств: малой плотностью, высокими механическими и гидроизоляционными свойствами, высокой химической теплостойкостью, высокими адгезионными, герметизирующими, звукоизолирующими и другими положительными свойствами.

Различают полимерные покрытия на основе термопластичных (термопласты) и термореактивных (реактопласты) полимеров [6, 25, 26, 40]. Термопластичные полимеры при нагревании размягчаются и вновь затвердевают при охлаждении, сохраняя свои первоначальные свойства. Термореактивные полимеры при нагревании необратимо изменяют свои свойства и переходят в неплавкое и нерастворимое состояние.

При выборе полимерных материалов можно

использовать данные об их химической стойкости, приведенные в табл. 13 [9].

Полимерные покрытия используются в основном для защиты от коррозии металлических поверхностей, подверженных воздействию сред сильной и средней агрессивности. Оценка агрессивности воздуха, температуры и степени загрязнения газами по отношению к стали приведена в табл. 14 [44].

#### 14. Качественная оценка агрессивности воздействия воздушной среды

Воздушная среда	Агрессивные газы, входящие в состав среды		Относительная влажность, %	Степень агрессивного воздействия среды по отношению к не защищенной углеродистой стали
	Наименование	Концентрация, мг/л		
Без загрязнений агрессивными газами и пылью	—	—	60 60—75	Слабая »
Загрязненная слабоагрессивными газами и пылью	Сероуглерод	0,01	75	»
	Фтористый кремний	0,001	75	»
	Сернистый ангидрид	0,02	60	Слабая
	Сероводород	0,01	75	Сильная
	Фтористый водород	0,05	60—75	Средняя
	Сернистый ангидрид	0,02—0,1	60	Слабая
Загрязненная среднеагрессивными газами и пылью	Фтористый водород	0,0005—0,001	60—75	Средняя
	Хлор	0,01	75	Сильная
	Сернистый ангидрид	0,1	60	Средняя
	Фтористый водород	0,001	60—75	Сильная
Загрязненная сильноагрессивными газами и пылью	Окислы азота	0,005	75	»

Для защиты от коррозии применяются следующие основные полимерные материалы.

**Полиэтилен** — один из самых распространенных и освоенных промышленностью полимеров, характеризуется высокой стойкостью к воздействию воды и агрессивных сред при температуре до 60 °С. Обладает высокой стойкостью к кислотам, щелочам, многим окислителям и растворителям. Практически не действуют на полиэтилен жиры, масла, керосин и другие нефтяные углеводороды. Фосфорная, соляная и фтористоводородная кислоты в любых концентрациях не оказывают на полиэтилен заметного действия. Однако серная и азотная кислоты при температурах выше 60 °С быстро его разрушают.

Наряду с положительными свойствами полиэтилен обладает рядом недостатков. Он горюч, подвержен старению под действием солнечных лучей, при длительном действии нагрузок необратимо деформируется, при этом возможно появление трещин. Минимальный срок службы полиэтилена в некоторых средах приведен в табл. 15 [40, 44].

**15. Срок службы полиэтилена в некоторых средах**

Агрессивная среда	Концентрация, %	Температура, °С	Минимальный срок службы, годы
Хлористый водород	—	30	5
Азотная кислота	30	30	2
Серная кислота	40	50	6
Соляная кислота	35	20	8
Фосфорная кислота	75	50	4
Хлорирующая ванна	—	60	3

На поверхность металла полиэтилен наносится в виде порошков, дисперсий в водноорганических средах, пленок и листов. Порошкообразный полиэтилен наносится на защищаемые поверхности методами плазменного, газопламенного, струйного, вихревого, вибрационного и электростатического напыления. Выбор метода напыления зависит от размеров и конфигурации защищаемого изделия и требований к качеству покрытия.

Прочностные и адгезионные свойства полиэтиленовых покрытий улучшаются с введением в качестве наполнителей оксидов алюминия и хрома, кварца, талька, диоксидов титана. Введение оксида хрома, кварца, талька, маршалита и других наполнителей способствует повышению стойкости полиэтиленовых покрытий к растрескиванию при эксплуатации в жидких средах.

Порошковые полиэтиленовые покрытия используются для защиты от коррозии трубопроводов, вентиляторов, химической аппаратуры, арматуры. Полиэтиленовая пленка используется для защиты от коррозии стальных подземных трубопроводов, строительных конструкций, а также для изготовления металлопласта. Полиэтиленовые листы толщиной 1—6 мм применяются для футеровки емкостей с агрессивными жидкостями.

*Полиизобутилен* обладает высокой химической стойкостью к большинству кислот и щелочей, растворам солей и воде. Нерастворим в спиртах, эфирах, кетонах. Однако полиизобутилен сравнительно легко растворяется в ароматических и хлорированных углеводородах, нестойк к маслам и жирам, к действию солнечных лучей в присутствии кислорода воздуха.

Полиизобутилен применяют в виде листов и пленок. Листовой полиизобутилен — искусственный каучукоподобный материал, по внешнему виду напоминающий резину.

Большая часть выпускаемого полиизобутилена используется в химической промышленности для защиты от коррозии оборудования и сооружений. Этим материалом защищают поверхности реакционных аппаратов, мерников, емкостей, колонн, электрофильтров, газоходов и другой аппаратуры, эксплуатируемой при температурах, не превышающих 85 °С.

*Полипропилен* отличается высокой температурой плавления (до 170 °С), устойчивостью к старению и химической стойкостью к действию воды, неокислительных кислот, щелочей и растворов солей. Однако концентрированная азотная кислота при повышенной температуре разрушает его. При комнатной температуре полипропилен не растворяется в органических растворителях, при температуре выше 80 °С он растворяется в ароматических и хлорированных углеводородах.

Для защиты от коррозии полипропилен используется в виде листов, пленок, порошков и волокон для армированных покрытий. Листовой полипропилен толщиной 1—2,5 мм применяется для облицовки емкостей с агрессивными жидкостями. Полипропиленовые пленки используются для гидро-, паро- и газоизоляции оборудования и сооружений при положительных температурах. Порошковые полипропиленовые покрытия целесообразно использовать для защиты от коррозии деталей, работающих при повышенных температурах.

*Поливинилхлорид* — один из наиболее стойких материалов. Пластмассы на основе поливинилхлорида выпускаются двух видов: жесткие

(винипласт) и мягкие (пластикат). Винипласт обладает хорошей стойкостью к действию кислот, щелочей, спиртов, масел, бензина, хорошо формируется и надежно сваривается. Пластикат отличается стойкостью к действию воды, щелочей и кислот низких и средних концентраций; под действием минеральных масел и органических растворителей становится хрупким.

Пластикат наносят на металлическую поверхность в виде пленки, паст и порошка. В связи с низкой адгезионной способностью пластика его наносят на предварительно загрунтованную поверхность. В качестве грунта чаще всего используют клеи на основе фенольных и эпоксидных смол, а также термопластичные клеи на основе сополимера винилхлорида с винилацетатом [6, 23].

В настоящее время имеется определенный опыт защиты поливинилхлоридом трубопроводов, металлических и железобетонных резервуаров, очистных сооружений.

В нашей стране организовано промышленное производство металлических труб, футерованных предварительно напряженными вкладышами из винилпласта и металлопласта с толщиной металла 0,25—1,5 мм и толщиной поливинилхлоридной пленки 0,18—0,3 мм.

В химической промышленности из металлопластов изготавливают сосуды и емкости для хранения реагентов, аппараты, работающие при невысоких давлениях и температурах, вытяжные зонты, воздухопроводы приточной и вытяжной вентиляции, трубопроводы большого диаметра со спиральным и замковым швом.

*Фторопласты* обладают отличной химической стойкостью и атмосферостойкостью, высокой тепло- и морозостойкостью.

В практике защиты от коррозии наибольший эффект может быть достигнут от применения таких фторопластов, как политетрафторэтилен, политрифторэтилен, поливинилфторид и поливинилфторид.

Политетрафторэтилен (фторопласт-4) по химической стойкости превосходит все другие синтетические полимеры, благородные металлы, специальные сплавы, керамику и другие материалы. Изделия из фторопласта-4 изготавливают методом вальцевания или прессования при температуре около 400 °С.

Фторопласты Ф-4О и Ф-4М (плавкие модификации фторопласта-4) производятся в виде белого порошка и могут быть использованы для защиты от коррозии химической аппаратуры, труб, фитингов и других изделий, работающих в сильноагрессивных средах [22]. В течение двух лет выдерживают эксплуатацию стальные трубы с покрытием из фторопласта при транспортировке по ним смеси плавиковой и азотной кислот при температуре, близкой к кипению [40].

*Политрифторэтилен* (фторопласт-3) по свойствам близок к полиэтилену, но обладает более высокой теплостойкостью. Используется в виде порошков и суспензий для нанесения покрытий на поверхности контейнеров, предназначенных для хранения аккумуляторной серной кислоты.

*Поливинилфторид* обладает высокой прочностью, стойкостью к атмосферным воздействиям, хорошей адгезией к различным материалам. Применяется в виде пленки в химической промышленности для защиты внутренних и наружных стен зданий и сооружений.

*Поливинилиденфторид* отличается, по сравнению с другими фторопластами, наилучшей пере-

рабатываемостью в изделия методом экструзии и литья под давлением, а также более высокими механическими свойствами. Применяется для облицовки трубопроводов, вентилях, насосов, емкостей, работающих в сильноагрессивных средах.

*Пентапласт* по химической стойкости приближается к фторопластам. Он стоек к слабым и сильным щелочам, слабым и некоторым сильным кислотам, органическим растворителям; хорошо перерабатывается литьем под давлением экструзией, пневмо- и вакуумформованием, хорошо сваривается. Пентапласт в виде листов применяется для футеровки труб, емкостей и аппаратуры.

*Гуммировочные защитные покрытия* обладают высокой стойкостью при действии большинства неорганических соединений, за исключением сильных окислителей, например азотной, хромовой и концентрированной серной кислот.

Промышленные гуммировочные материалы, применяемые для защиты от коррозии, делятся на листовые материалы и жидкие каучуки. Листовые материалы изготовляют, в основном, на основе синтетических каучуков: изопренового, хлоропренового, бутадиенового и бутадиенстирольного.

Детали сложной конфигурации, которые невозможно или затруднительно защищать от коррозии листовым гуммировочным материалом, целесообразно гуммировать каучуковыми растворами или пастами. Наибольшее распространение в нашей стране в противокоррозионной технике получили жидкие хлоропреновые каучуки, называемые наиритами. В качестве растворителей наирита используются смеси, состоящие из



# **16. Стойкость гуммировочных покрытий на основе жидких наиритов в агрессивных средах**

Агрессивная среда	Концентрация, %	Температура, °C	Оценка стойкости
Бензин	—	20	+
Бензол	100	20	—
Вода морская	—	20	+
Глицерин	90	20	+
Соли калия:			
двухромовокислая	2	85	—
кислая сернокислая	10	60	+
надсернокислая	5	60	+
Кислоты:			
азотная	5	20	—
серная	40	60	+
»	65	20	+
»	65	85	—
соляная	10	20	+
»	20	60	—
уксусная	10	60	—
фосфорная	20	60	+
Масло трансформаторное	—	20	+
Хлорид натрия	10	60	+
Гидроксид натрия	10	60	+
Этанол	96	20	+

76 % сольвент-нафты, 19 % скипидара и 5 % н-бутилового спирта. В табл. 16 приведена химическая стойкость в некоторых средах гуммировочных материалов на основе жидкого наирита [40].

*Конверсионные покрытия* — это покрытия из труднорастворимых в воде солей и окислов, получаемых в результате взаимодействия основного металла с растворами. Широкое распространение в антикоррозионной практике нашли

фосфатные, хроматные покрытия, а также анодированные.

Фосфатные покрытия применяются, в основном, при подготовке стальных изделий перед окраской. Распространены три способа нанесения фосфатных покрытий: медленное фосфатирование, ускоренное и фосфатирование при комнатной температуре.

Медленное фосфатирование позволяет получать покрытия толщиной до 20 мкм. При ускоренном фосфатировании как при повышенной, так и при комнатной температурах получают более тонкие покрытия (менее 10 мкм).

Фосфатирование осуществляется, в основном, методом окунания в раствор.

Хроматные покрытия наносят на поверхности цинковых, оцинкованных или кадмированных деталей. Применяются они также для защиты от коррозии деталей из магния, меди, алюминия и других металлов. Основным компонентом хроматных покрытий являются соединения трех- и шестивалентного хрома и хромата металла основы. Тонкие, светлые покрытия состоят преимущественно из соединений трехвалентного хрома, тогда как более толстые слои желтого цвета содержат одновременно соединения трех- и шестивалентного хрома. Процесс хроматирования осуществляется в растворе, содержащем чаще всего хромовый ангидрид, бихромат натрия или калия, небольшие количества серной и азотной кислот, а также активаторы — муравьиную кислоту, хлорное железо, нитрат цинка.

Оксидирование применяется, в основном, для защиты деталей из алюминия и его сплавов. Процесс оксидирования заключается в электролитическом образовании на поверхности металла защитного оксидного покрытия. Оксидирова-

ние ведется в серной, хромовой или щавелевой кислотах.

*Керамические покрытия* — это покрытия из высокоплавких металлов, окислов и карбидов, полученные с использованием плазменного напыления. Наиболее распространенными керамическими покрытиями являются покрытия из окиси алюминия, двуокиси циркония, карбида вольфрама. Такие покрытия можно использовать для защиты деталей, подверженных воздействию расплавленных металлов и стекла, повышения жаростойкости деталей, изготовленных из углеродистых сталей, повышения износостойкости. Технология плазменного напыления позволяет получать керамические покрытия толщиной до 1,0 мм.

К недостаткам керамических покрытий относятся: пористость, плохое сцепление с основой, изменение внутреннего строения материала покрытия при изменениях температуры, большое различие в коэффициентах термического расширения покрываемого материала и керамического покрытия.

*Эмалевые покрытия* в большинстве случаев наносятся на стальные и чугунные изделия, иногда их можно использовать для защиты медных, латунных и алюминиевых поверхностей. Эти покрытия устойчивы при воздействии на них органических и неорганических кислот, за исключением плавиковой и горячей концентрированной фосфорной кислот. Эмалевые покрытия можно использовать при температурах до 600 °С, а специальные сорта эмалей могут кратковременно выдерживать температуру до 1000 °С. Недостаток эмалей — их хрупкость и растрескивание при резких изменениях температуры.

Эмалевые покрытия используются, в основном, для защиты аппаратуры в химической, фармакологической и пищевой отраслях промышленности, при изготовлении бытовой посуды и санитарной техники. Толщина эмалевых покрытий может достигать 1,5—2,0 мм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 278292 (СССР).
2. А. с. 564842 (СССР).
3. **Акимов Г. В.** Теория и методы исследования коррозии металлов.— М. : Изд-во АН СССР, 1945.— 350 с.
4. **Антропов Л. И., Макушин Е. М., Панасенко В. Ф.** Ингибиторы коррозии / Под ред. Л. И. Антропова.— К. : Техніка, 1981.— 183 с.
5. **Аугустин Я., Шледзевский Е.** Аварии стальных конструкций / Пер. с пол. Д. Д. Попова.— М. : Стройиздат, 1978.— 183 с.
6. **Белый В. А., Егоренков Н. И., Плескачевский Ю. М.** Адгезия полимеров к металлам.— Минск : Наука и техника, 1971.— 288 с.
7. **Беттхер Г. Дж.** Коррозионное поведение оцинкованных стальных конструкций.— В кн. : Атмосферная коррозия в промышленном и гражданском строительстве / Пер. с нем. под ред. М. Н. Фокина. М. : Металлургия, 1981, с. 40—49.
8. **Воробьева Г. Я.** Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств.— М. : Химия, 1975.— 816 с.
9. **Воробьева Г. Я.** Химическая стойкость полимерных материалов.— М. : Химия, 1981.— 296 с.
10. **Денкер И. И.** Технология окраски изделий в машиностроении.— М. : Высш. школа, 1979.— 215 с.
11. **Домашнев А. Д., Рычков А. И.** О влиянии конструктивных форм аппаратуры на ее коррозию.— Хим. пром-сть, 1948, № 7, с. 2—6.
12. **Кадек В. М., Кукурс О. К., Пурин Б. А.** Защита металлов от коррозии.— Рига : Авотс, 1981.— 174 с.
13. **Картер В. И.** Металлические противокоррозионные покрытия / Пер. с англ. Г. Н. Носовой.— Л. : Судостроение, 1980.— 168 с.
14. **Колотыркин Я. М.** Современное состояние электрохимической теории коррозии металлов.— Журн. Всесоюз. хим. об-ва им. Менделеева, 1975, т. 20, № 1, с. 59—70.

15. **Коррозия:** Справочник / Под ред. Л. Л. Шрайера; Пер. с англ.— М.: Металлургия, 1981.— 632 с.

16. **Лакокрасочные** покрытия в машиностроении: Справочник / Под ред. М. М. Гольдберга.— М.: Машиностроение, 1977.—576 с.

17. **Мудрук А. С., Румянцев А. М.** Коррозионное разрушение деталей, соединенных контактной сваркой.— В кн.: Исследование и конструирование машин для животноводства и кормопроизводства. К.: ВНИИживмаш, 1982, с. 84—87.

18. **Мудрук А. С., Румянцев А. М., Панченко М. И.** Исследование коррозии металлов в водных растворах муравьиной кислоты.— В кн.: Исследование и конструирование машин для животноводства и кормопроизводства. К.: ВНИИживмаш, 1983 с. 120—125.

19. **Мудрук А. С., Хомяк В. П.** Пути обеспечения ремонтпригодности элементов конструкции животноводческих машин, подверженных коррозии.— В кн.: Тез. докл. Всесоюз. симпоз. «Повышение ремонтпригодности машин и технологического оборудования». М., 1978, с. 133—135.

20. **Опара Б. К.** Электрохимическая защита и рациональное конструирование.— М.: Знание, 1972.—75 с.

21. **Пат. 3921587 (США).**

22. **Полиэтилен** и другие полиолефины / Пер. с англ.; Под ред. П. В. Козлова, Н. А. Платэ.— М.: Мир, 1964.— 594 с.

23. **Полякова К. К., Зельцер Ю. Г.** Полимерные покрытия полосового проката.— М.: Металлургия, 1971.— 121 с.

24. **Плудек В.** Защита от коррозии на стадии проектирования / Пер. с англ. А. В. Шрейдера.— М.: Мир, 1980.— 438 с.

25. **Применение** полимеров в антикоррозионной технике / Под ред. И. Я. Клинова, П. Г. Удыма.— М.: Машгиз, 1962.—320 с.

26. **Применение** полимерных материалов в качестве покрытий / С. В. Гепель, В. А. Белый, В. Я. Булгаков и др.— М.: Химия, 1968.—238 с.

27. **Производство** и применение гнутых профилей проката: Справочник / Под ред. И. С. Тришевского.— М.: Металлургия, 1975.—112 с.

28. **Рейхельт В.** Антикоррозионная защита автомобилей / Пер. с нем. Р. Е. Мельцера.— М.: Транспорт, 1977.— 104 с.

29. **Розенфельд И. Л.** Коррозия и защита металлов: Локальные коррозионные процессы.— М.: Металлургия, 1970.— 448 с.

30. Розенфельд И. Л., Рубинштейн Ф. И. Антикоррозионные грунтовки и ингибированные лакокрасочные покрытия.— М.: Химия, 1980.—200 с.
31. Розенфельд И. Л. Ингибиторы коррозии.— М.: Химия, 1977.— 352 с.
32. Скалли Дж. Основы учения о коррозии и защите металлов /Пер. с англ. А. В. Шрейдера.— М.: Мир, 1978.— 223 с.
33. Скорчеллетти В. В. Теоретические основы коррозии металлов.— Л.: Химия, 1973.— 263 с.
34. Скцисло З. Связь между конструктивным оформлением и коррозионным поведением стальных конструкций.— В кн.: Атмосферная коррозия в промышленном и гражданском строительстве /Пер. с нем. под ред. М. Н. Фокина. М.: Металлургия, 1981, с. 165—183.
35. Сточик Г. Ф. Технология окрасочных работ в машиностроении.— М.: Высш. школа, 1981.— 238 с.
36. Техника борьбы с коррозией /Пер. с пол. под ред. А. М. Сухотина.— Л.: Химия, 1978.— 301 с.
37. Томашов Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов.— М.: Изд-во АН СССР, 1960.— 180 с.
38. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии: Коррозия металлов в промышленности /Пер. с нем. под ред. Н. Н. Милютина.— Л.: Химия, 1967.— 710 с.
39. Ульянов Е. А. Коррозионностойкие сплавы и стали: Справочник.— М.: Металлургия, 1980.— 208 с.
40. Фокин М. Н., Емельянов Ю. В. Защитные покрытия в химической промышленности.— М.: Химия, 1981.— 304 с.
41. Хилл П. Наука и искусство проектирования: Методы проектирования, научное обоснование решений: Пер. с англ.— М.: Мир, 1973.— 263 с.
42. Эванс Ю. Р. Коррозия и окисление металлов /Пер. с англ. под ред. И. Л. Розенфельда.— М.: Машгиз, 1962.— 856 с.
43. Чернов Л. Б. Основы методологии проектирования машин.— М.: Машиностроение, 1978.—148 с.
44. Чехов А. П. Полимеры в антикоррозионной технике.— К.: Будівельник, 1968.— 128 с.
45. Шмугер М. А., Ажогин Ф. Ф., Ефимов Е. А. Коррозия и защита металлов.— М.: Металлургия, 1981.— 216 с.
46. Nolan P. D. How CIL handles sulfuric acid corrosion.— Can. Chem. Process. 1977, 61, N4, p. 35—37.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр. 3
Предисловие . . . . .	
<b>Глава 1. Обеспечение коррозионной стойкости изделий в процессе выбора конструктивных решений . . . . .</b>	<b>5</b>
1. Основы защиты от коррозии при конструировании . . . . .	5
2. Площадь контакта поверхности со средой . . . . .	10
3. Удаление влаги и инородных частиц . . . . .	29
4. Напряжения и температурные перепады . . . . .	38
5. Приспособленность конструкции к реализации технологических и эксплуатационных мер защиты от коррозии . . . . .	53
<b>Глава 2. Выбор конструкционных материалов и защитных покрытий . . . . .</b>	<b>57</b>
1. Выбор металлов и сплавов . . . . .	57
2. Выбор металлических покрытий . . . . .	77
3. Выбор лакокрасочных материалов . . . . .	96
4. Выбор неметаллических материалов и покрытий . . . . .	120
Список литературы . . . . .	132



Алексей Северианович Мудрук, канд. техн. наук,  
Павел Васильевич Гончаренко

**КОРРОЗИЯ И ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ**

Редактор *Л. Е. Альпер*

Оформление художника *В. А. Гурлева*

Художественные редакторы *Л. А. Дикарев, И. В. Рублева*

Технический редактор *Е. М. Гороховская*

Корректор *Г. А. Криницкая*

Информ. бланк № 2380

Сдано в набор 19.05.83. Подписано в печать 10.11.83. БФ 49881.  
Формат 70×90<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага для гл. печ. Гарн. лит. Печ. выс. Усл. печ.  
л. 4,97. Усл. кр.-отт 5,18. Уч.-изд. л. 5,6. Тираж 4000 экз. Зак.  
№ 3-471. Цена 55 к.

Издательство «Техника», 252601, Киев, 1, Крещатик, 5.

Отпечатано с матриц Головного предприятия РПО «Полиграфкини-  
га» на книжной фабрике «Коммунист». 310012, Харьков-12,  
Энгельса, 11.

55 к.

КИЕВ «ТЕХНІКА» 1984